

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЯ УРОВНЯ МОРЯ ИУМ-1

Н.А.Греков*, В.И.Забурдаев*,
П.В.Гайский*, А.Н.Логвинчук*,
А.П.Алексеев*, В.А.Наумова**

*Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net
**"ГМБ Севастополь"
г. Севастополь, ул. Советская, 61

В статье приводятся результаты трехмесячной эксплуатации разработанного в МГИ НАН Украины измерителя уровня моря ИУМ-1, установленного на мысе Павловский (г. Севастополь). По результатам испытаний произведены оценки эксплуатационных показателей измерителя, а также характера изменчивости уровня моря в Севастопольской бухте в летне-осенний период 2003 года в сравнении с ранее выполненными и синхронными наблюдениями с помощью стандартного самописца уровня моря СУМ.

Вводная часть. Главной целью опытной эксплуатации измерителя уровня моря ИУМ-1 [1], разработанного и изготовленного в Морском гидрофизическом институте Национальной академии наук Украины по заданию Гидрометеослужбы Украины, являлась проверка эксплуатационных характеристик изделия в реальных условиях в процессе длительной эксплуатации. При этом производилась оценка работоспособности измерительных каналов температуры, относительной электрической проводимости, гидростатического давления и уровня моря и сличение показаний уровня моря, зарегистрированных с помощью ИУМ-1, с показаниями стандартного самописца уровня моря (СУМ).

Опытная эксплуатация производилась с 1 августа по 1 ноября 2003 года. ИУМ-1 был установлен в уровнемерном колодце на мысе Павловский (порт Севастополь), в котором был штатно расположен стандартный самописец уровня СУМ, обслуживаемый сотрудниками "ГМБ Севастополь". Это позволило корректно сопоставить информацию, полученную с помощью ИУМ-1 и стандартного самописца уровня при воздействии на них одного и того же физиче-

ского процесса (изменчивости уровня воды) как во времени, так и в пространстве.

Регистрация информации, получаемой с помощью ИУМ-1, по всем измеряемым параметрам производилась автоматически с дискретностью по времени, равной 5-ти минутам. Накопление и хранение информации производилось в модуле памяти (МП).

Регистрация гидрометеорологических параметров (температура воздуха и воды в море, средняя скорость ветра и максимальная скорость ветра, атмосферное давление, уровень моря в уровнемерном колодце) производилась штатными сотрудниками гидрометеопостов с помощью стандартных средств в соответствии с нормативными сроками наблюдений.

Электропитание ИУМ-1 производилось от штатной сети 220 В 50 Гц, разведенной в уровнемерном колодце.

Метрологическая аттестация измерителей температуры, гидростатического давления и относительной электрической проводимости ИУМ-1 производилась ведомственной метрологической службой МГИ НАН Украины. При этом были получены следующие градуировочные характеристики:

– по каналу температуры, °С

$$t = t^* + 0,06, \quad (1)$$

где t^* , °С – значение температуры по данным измерителя температуры ИУМ-1;

– по каналу гидростатического давления, дбар

$$P = 0,0088 + 0,00051702 \cdot N_p, \quad (2)$$

где N_p – значение цифрового отсчета по данным измерителя разностного давления ИУМ-1 в десятичной системе счисления;

– по каналу относительной электрической проводимости

$$R = -0,017 + 202,52 \cdot (N_R)^{-1}, \quad (3)$$

где N_R – значение цифрового отсчета измерителя ИУМ-1 в десятичной системе счисления.

Вычисление солёности (S) и плотности воды в колодце производилось по формулам шкалы практической солёности 1978 года (ШПС-1978) и уравнения состояния морской воды 1980 года (УС-1980).

Вычисление значения уровня воды в колодце по данным измерений гидростатического давления столба воды и плотности воды производилось по формуле

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g} \cdot 10^4, \quad (4)$$

где H , м – уровень воды над датчиком давления ИУМ-1;

P , дбар – давление водяного столба над датчиком давления ИУМ-1;

ρ , кг/м³ – плотность воды в колодце;

$g = 9,8$, м/с² – ускорение свободного падения в месте установки ИУМ-1.

Все упомянутые формулы, включая ШПС-1978, УС-1980, были заложены в программное обеспечение ИУМ-1 и расчеты по ним производились автоматически в процессе обработки информации с помощью внешней ПЭВМ.

Установка ИУМ-1 в уровнемерном колодце производилась сотрудниками отдела АОИ МГИ НАН Украины совместно с сотрудниками уровнемерного поста “ГМБ Севастополь”.

Основные результаты опытной эксплуатации.

Общая информация о полученных результатах. На рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6 показаны графики изменчивости за время наблюдений температуры, относительной электрической проводимости, солёности, плотности, гидростатического давления и уровня воды в колодце соответственно, полученные с помощью ИУМ-1.

На рис. 7, 8, 9, 10 приведены графики изменчивости за тоже время наблюдения температуры воздуха и воды в море, средней скорости ветра и максимальной скорости ветра, мгновенного уровня воды в колодце и мгновенного атмосферного давления соответственно, полученные с помощью стандартного гидрометеорологического оборудования на гидрометеопостах “ГМБ Севастополь”.

На рис. 11, 12, 13 приведены графики изменчивости уровня, зафиксированного с помощью ИУМ-1 за одни сутки 20.08.2003, 11.09.2003 г. и 17.09.2003 г. в относительно спокойный период изменчивости уровня воды в колодце (окно 1 на рис. 6), на подъеме уровня (окно 2 на рис. 6) и на спаде уровня (окно 3 на рис. 6).

Как видно из этих рисунков, высокочастотные составляющие колебаний уровня моря с периодом от 0,5 часа до 3-х часов весьма заметны и носят относительно регулярный характер.

Подобная изменчивость наблюдается и на лентах штатного самописца, независимо подтверждая реальность существования короткопериодных колебаний уровня моря в Севастопольской бухте, вызванных сейшмами.

На рис. 14 и 15 приведены графики изменчивости осредненных за 12 часов показаний по данным ИУМ-1 и СУМ соответственно.

Оценка состояния конструкции погружной части ИУМ-1 после трехмесячной постановки в уровнемерный колодец. В результате осмотра погружного блока ИУМ-1 обнаружено:

1) погружной блок покрыт тонким слоем полупрозрачной слизи. Это в конечном итоге при большем сроке постановки ИУМ-1 может ухудшить метрологические характеристики контактного датчика электропроводности;

2) место сварки выводного патрубка с герметичным контейнером измерителя уровня моря (все детали изготовлены из нержавеющей стали) покрылось ржавым налетом в отдельных местах, однако герметичность сварочного шва не была нарушена;

3) ленточные токовые электроды у датчика электропроводности в средней части отошли от изоляционной стенки (произошло нарушение клевого соединения), что в последующем может привести к изменению геометрической постоянной датчика в процессе эксплуатации и возникновению погрешности измерений в водах с высокой солёностью ($S = 10 \div 42$). При работе в воде с низкой солёностью ($S = 1 \div 9,5$), как это наблюдалось в уровнемерном колодце (см. рис. 3), погрешность измерений относительной электропроводности из-за

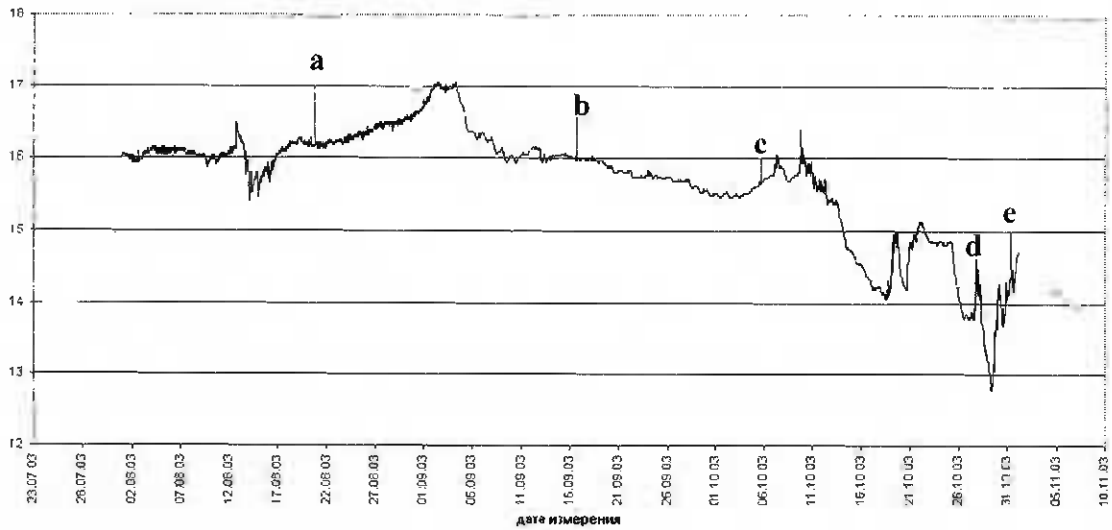


Рисунок 1 – Изменчивость температуры ($^{\circ}\text{C}$) воды в колодце в течение опытной эксплуатации

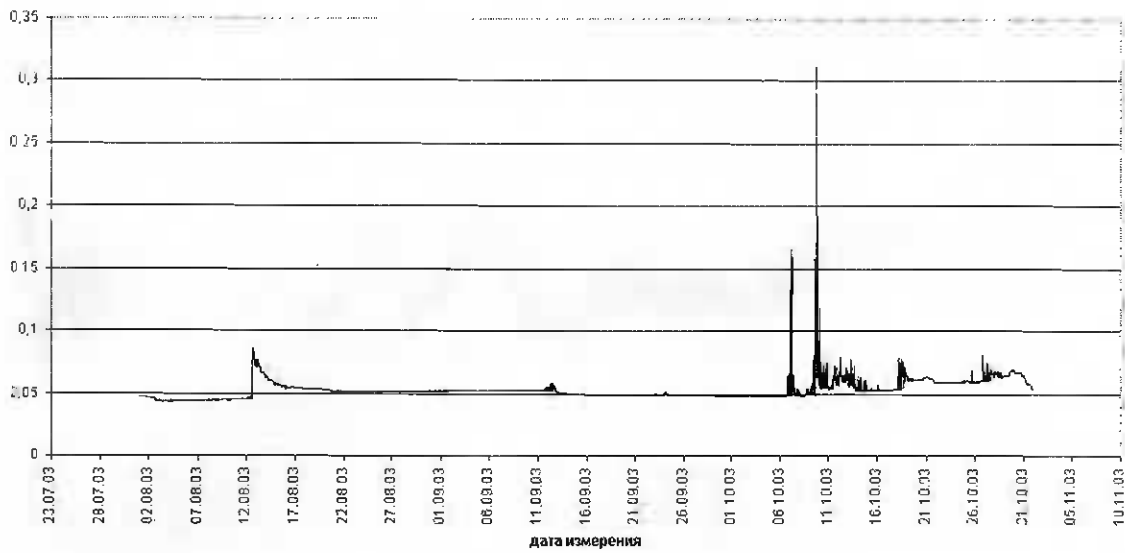


Рисунок 2 – Изменчивость относительной электропроводности (о.е.) воды в колодце в течение опытной эксплуатации

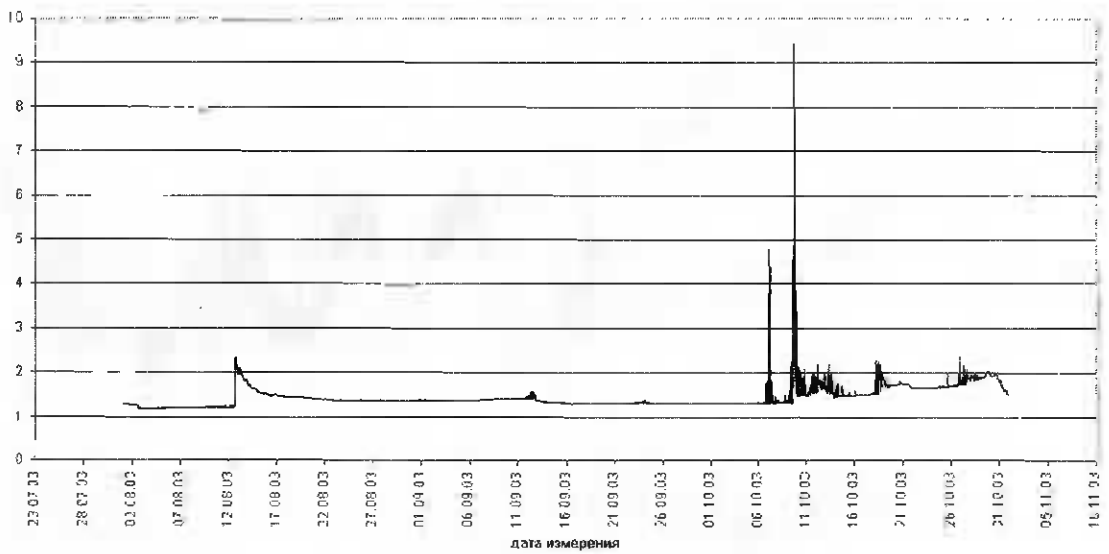


Рисунок 3 – Изменчивость солёности воды в колодце (единицы практической солёности)

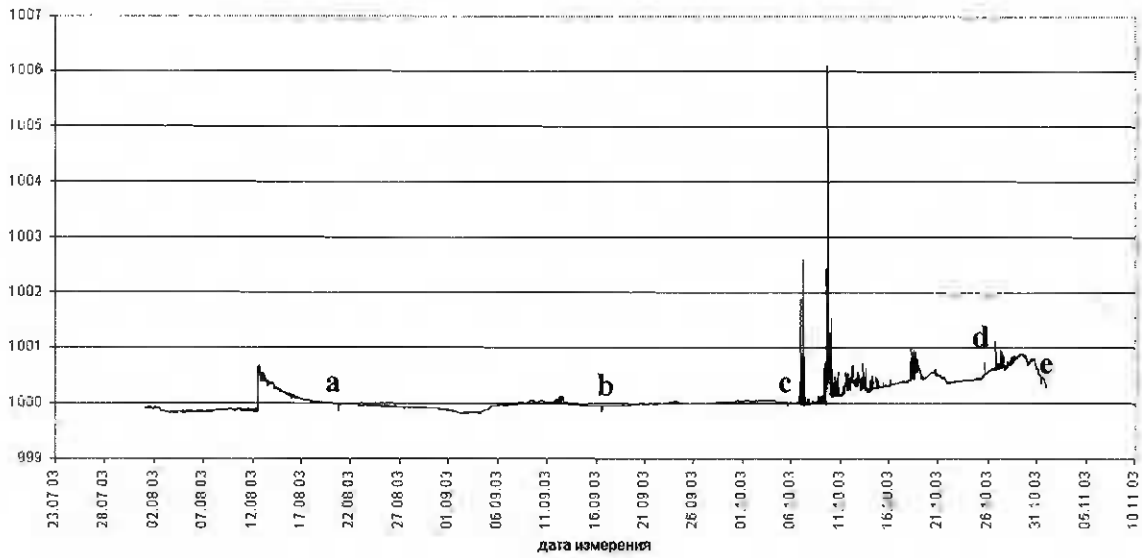


Рисунок 4 – Изменчивость плотности воды в колодце ($\text{кг}/\text{м}^3$)

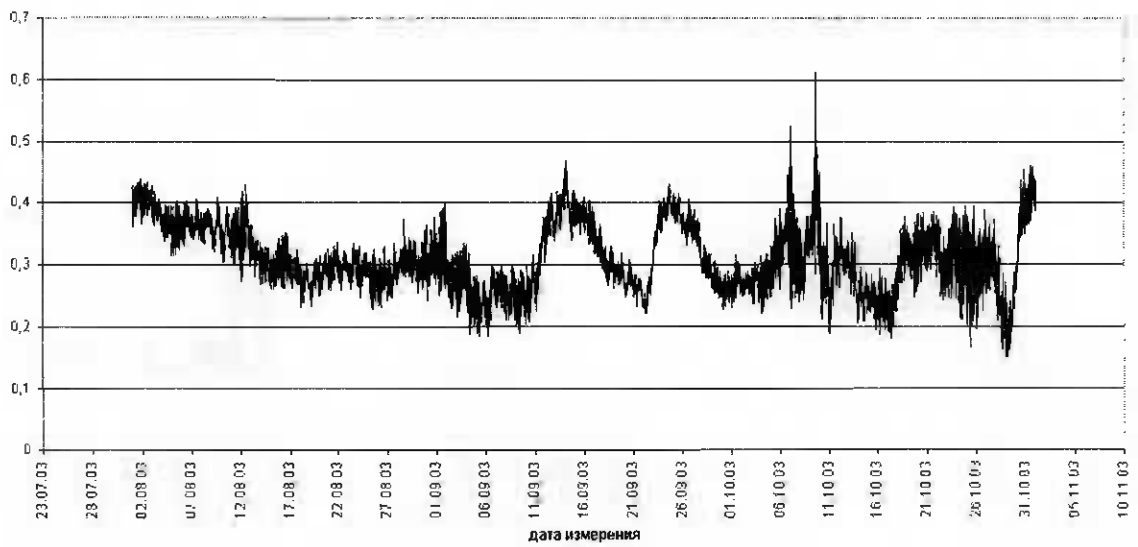


Рисунок 5 – Изменчивость гидростатического давления столба воды в колодце (дБа) над входным отверстием датчика давления ИУМ-1 в течение опытной эксплуатации

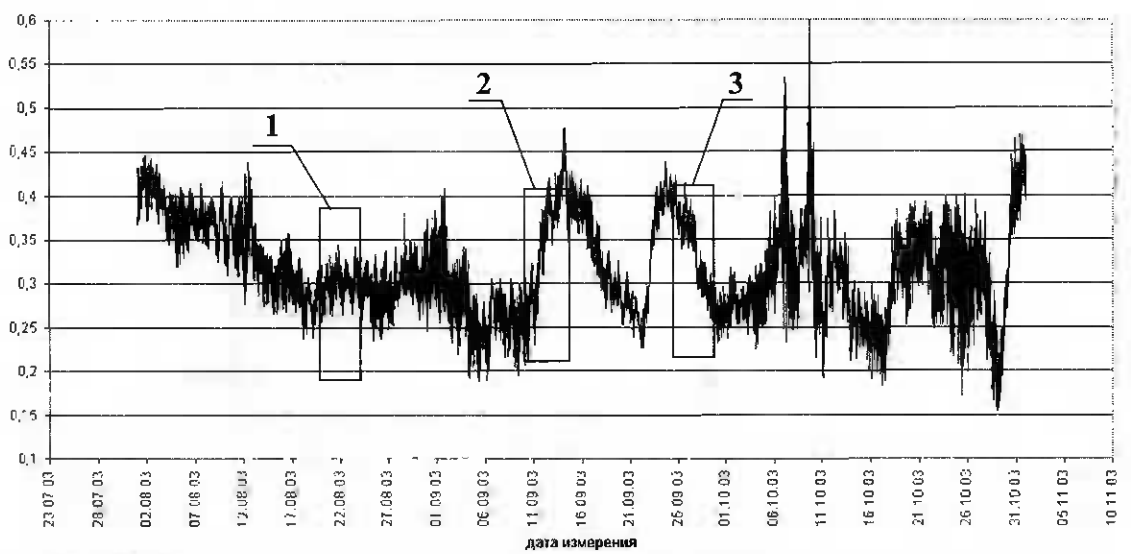


Рисунок 6 – Изменчивость уровня воды в колодце (м) по показаниям измерителя уровня ИУМ-1

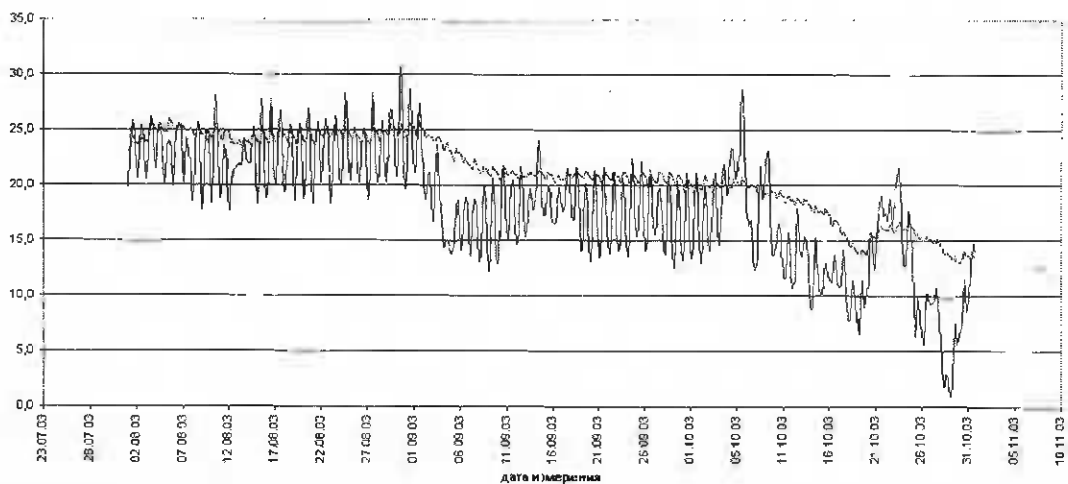


Рисунок 7 – Изменчивость температуры воды в море ($^{\circ}\text{C}$) (штриховая линия) и температуры воздуха над морем ($^{\circ}\text{C}$) (сплошная линия) по данным ГМБ в период опытной эксплуатации ИУМ-1

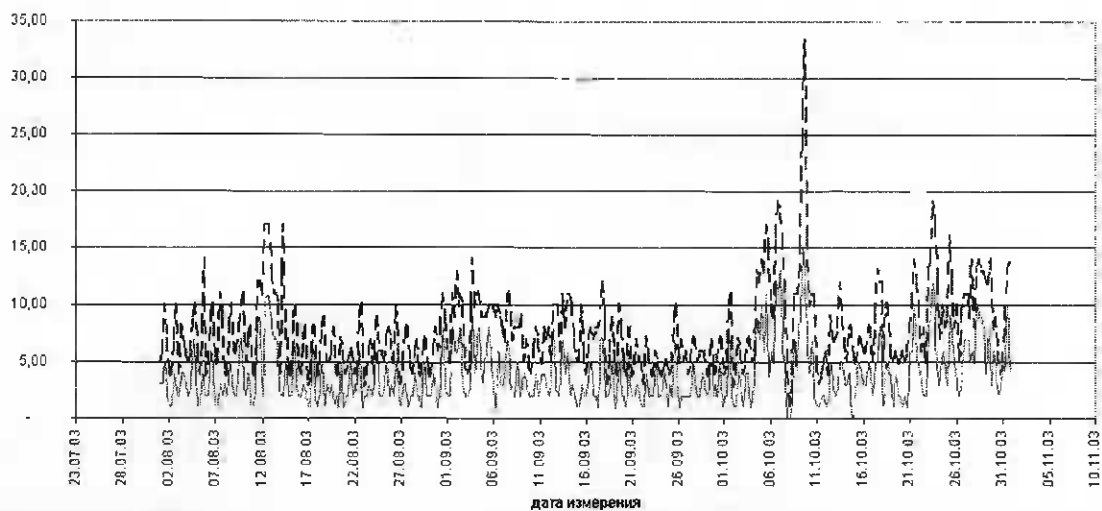


Рисунок 8 – Изменчивость средней скорости ветра (м/с) (сплошная линия) и максимальной мгновенной скорости ветра в интервале осреднения (м/с) (штриховая линия) над морем по данным ГМБ в период опытной эксплуатации ИУМ-1

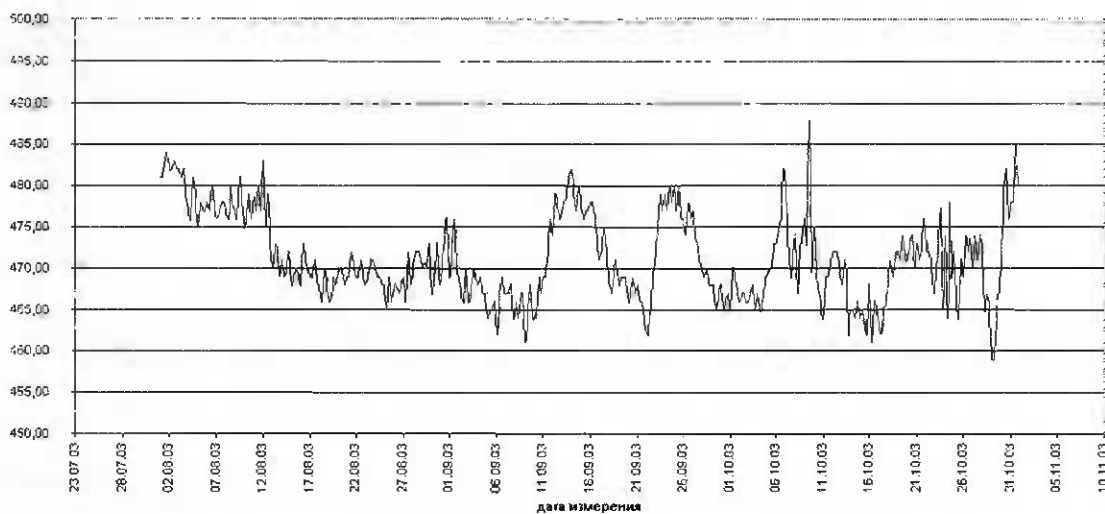


Рисунок 9 – Уровень воды в колодце (см) по неосредненным показаниям стандартного самописца СУМ по данным ГМБ в период опытной эксплуатации ИУМ-1

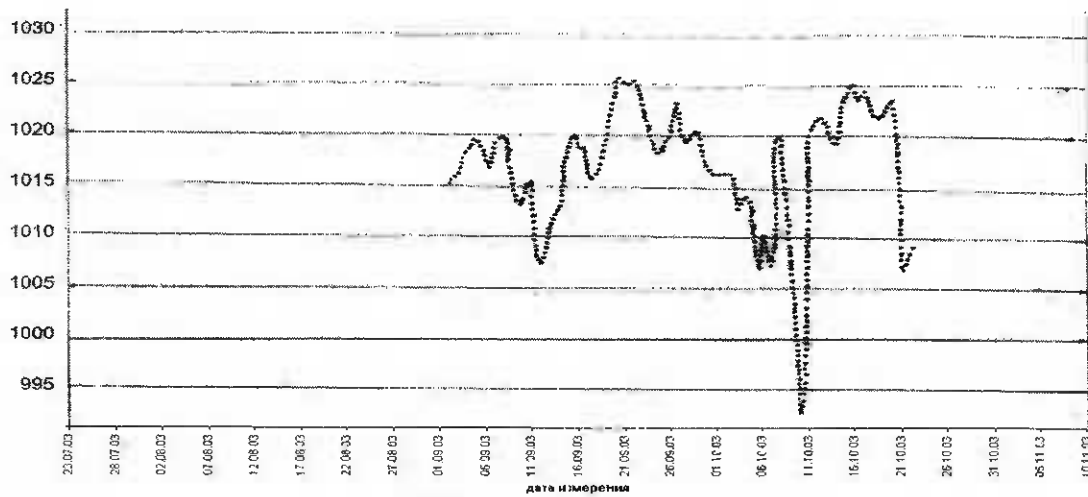


Рисунок 10 – Атмосферное давление (мБар) по данным ГМБ в период опытной эксплуатации ИУМ-1 (выбран наиболее показательный участок графика с 3.09 по 18.10.03)

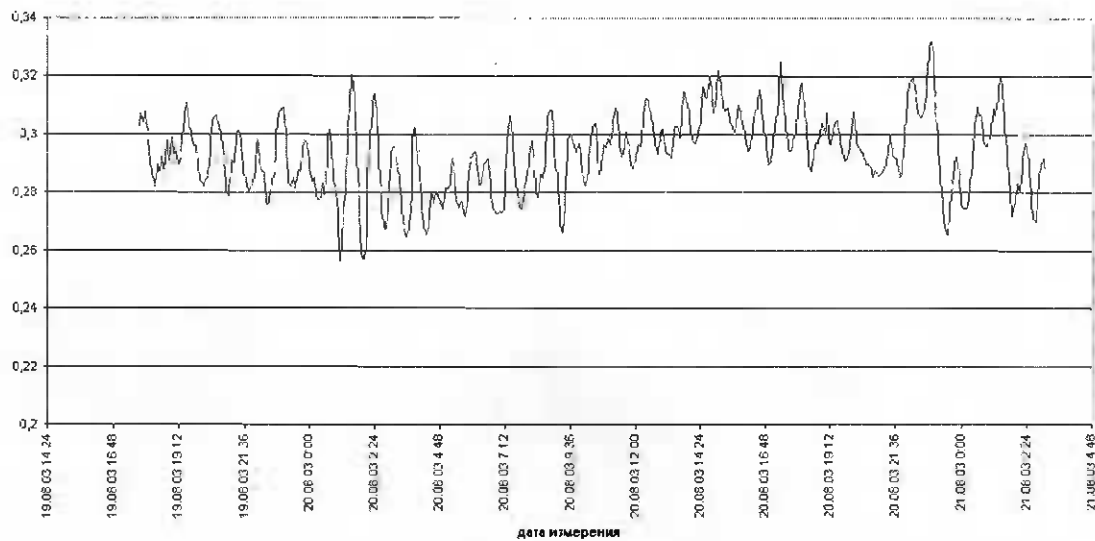


Рисунок 11 – Изменчивость уровня воды в колодце по данным мгновенных отсчетов ИУМ-1 в течение суток 20.08.03

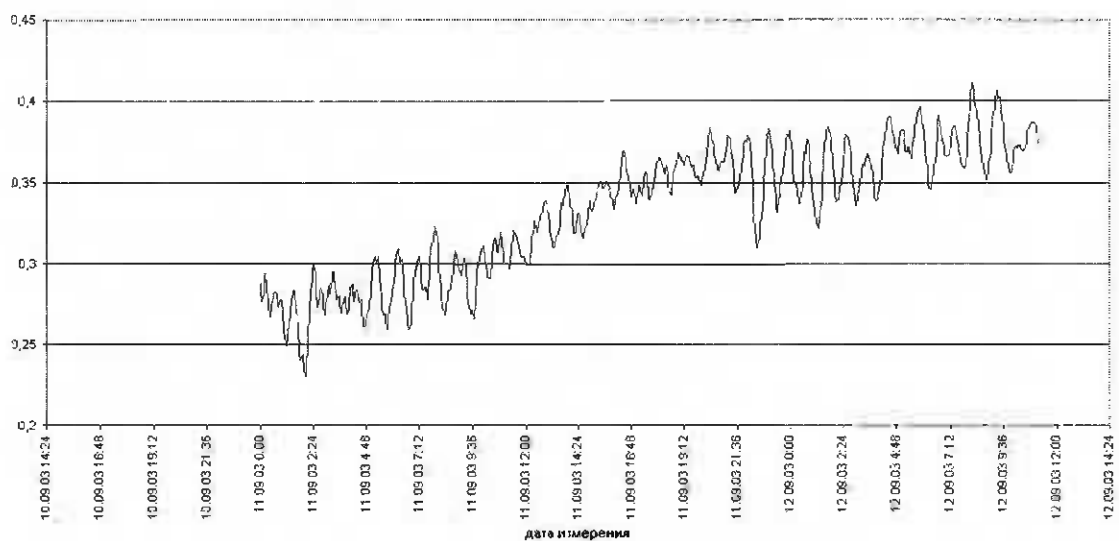


Рисунок 12 – Изменчивость уровня воды в колодце по данным мгновенных отсчетов ИУМ-1 в течение суток 11.09.03

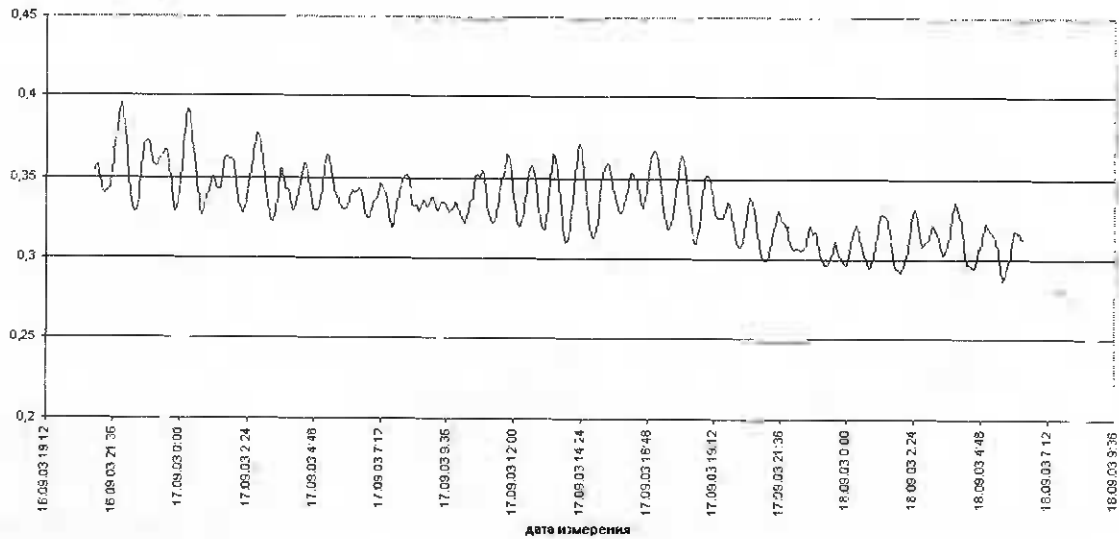


Рисунок 13 – Изменчивость уровня воды в колодце по данным мгновенных отсчетов ИУМ-1 в течение суток 17.09.03

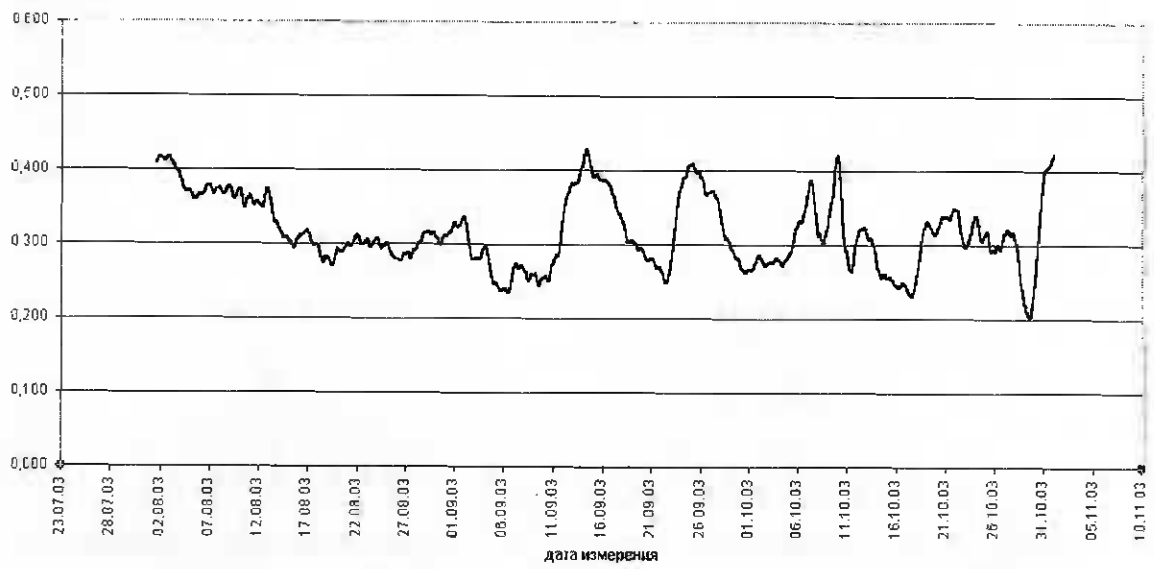


Рисунок 14 – Осредненный за 12 часов уровень воды в колодце по данным ИУМ-1

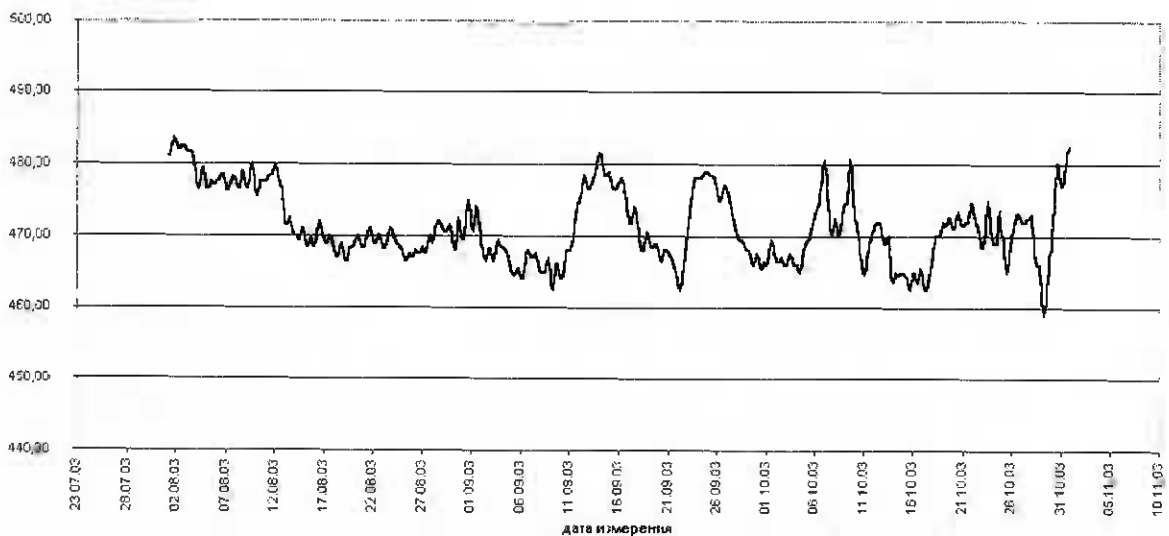


Рисунок 15 – Осредненный за 12 часов уровень воды в колодце по данным СУМ

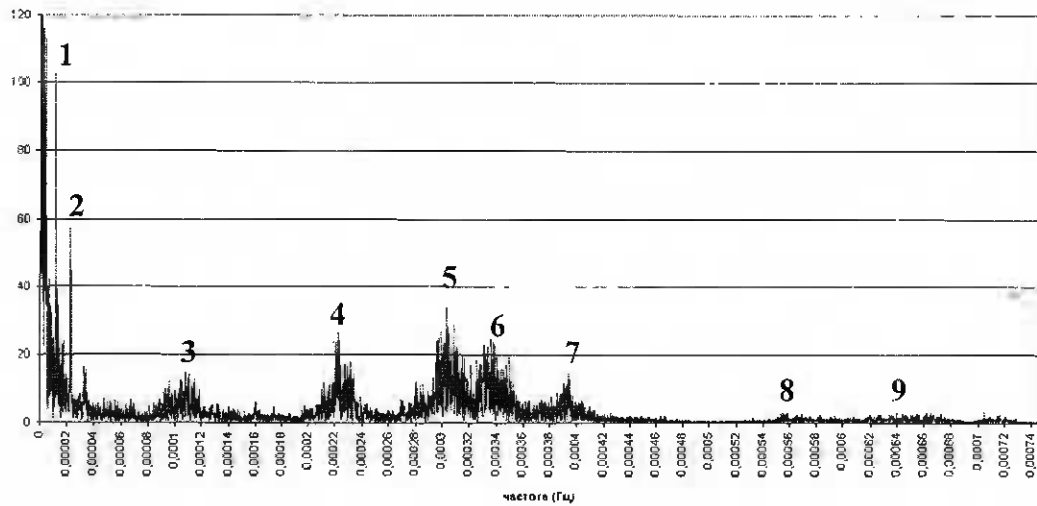


Рисунок 16 - Спектральный состав короткопериодных колебаний уровня воды в колодце по данным ИУМ-1.
Периоды колебаний: 1 – 24 час.; 2 – 12,25 час.; 3 – 2,6 час.; 4 – 1,25 час.; 5 – 55 мин.; 6 – 50 мин.; 7 – 42 мин.; 8 – 30 мин.; 9 – 25 мин.

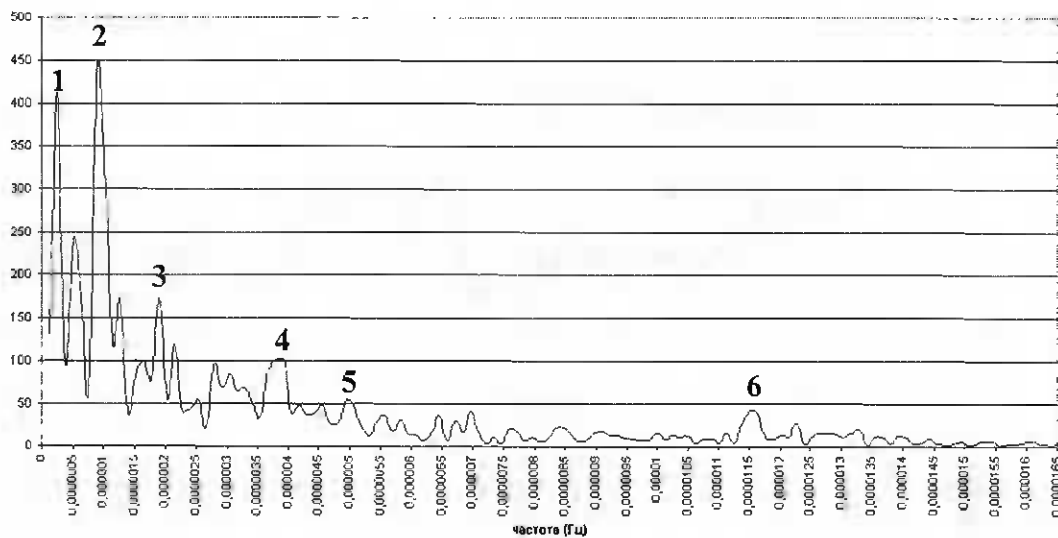


Рисунок 17 – Спектральный состав длиннопериодных колебаний уровня воды в колодце по данным ИУМ-1.
Периоды колебаний: 1 – 44 ± 7 сут.; 2 – $13 \pm 0,5$ сут.; 3 – $6 \pm 0,1$ сут.; 4 – $3,1 \pm 0,05$ сут.; 5 – 2,3 сут.; 6 – 1,0 сут

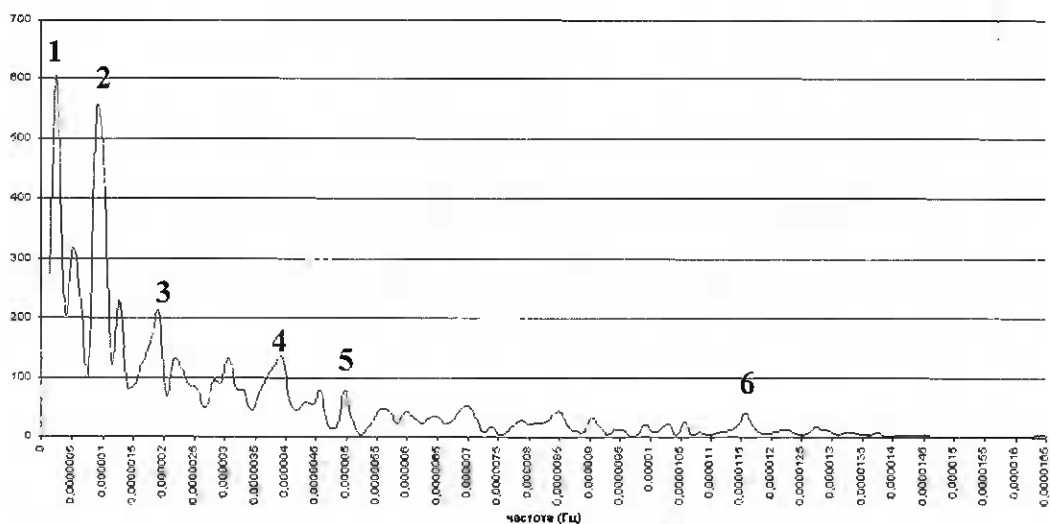


Рисунок 18 - Спектральный состав длиннопериодных колебаний уровня воды в колодце по данным СУМ.
Периоды колебаний: 1 – 48 ± 7 сут.; 2 – $12,8 \pm 0,5$ сут.; 3 – $6,1 \pm 0,2$ сут.; 4 – $3 \pm 0,1$ сут.; 5 – 2,3 сут.; 6 – 1 сут.

изменчивости геометрической постоянной датчика не превышала заданного техническим заданием значения $\Delta R = 3 \cdot 10^{-3}$.

Информационная надежность измерительных каналов, устройств регистрации, хранения и воспроизведения информации. Надежность корректнее всего оценивать по графикам изменчивости наиболее "спокойных" параметров, к которым относятся температура, соленость и плотность воды в колодеце.

За 93 дня работы получено, передано, запомнено, выведено $N = 26784$ кадра (отсчета), что соответствует $m = 2571264$ бит информации. При этом визуально можно квалифицировать "сбойными" отсчетами по каналу температуры $n_{сб} = 5$ отсчетов (точки а, в, с, d, е на рис. 1, 4), что дало в значениях плотности отрицательные единичные выбросы.

Таким образом, пять сбойных кадров по температуре дают относительный коэффициент сбоев кадров, не превышающий

$$\gamma_{кадр} = \frac{n_{сб}}{N} \cdot 100 = 0,0187 \% .$$

Это соответствует получению доброкачественной (несбойной) информации с доверительной вероятностью 0,998.

Если оценивать надежность только по сбоям в показаниях температуры (а не в кадрах, когда бракуются не только температура, но и отсчеты давления, электропроводности в этом же отсчете (кадре), хотя они не сбойные), то процент сбоев в общем объеме информации (в битах) не более

$$\gamma_{бит} = \frac{l \cdot n_{сб}}{m} \cdot 100 = 3,1 \cdot 10^{-3} \% ,$$

где $l = 16$ бит – разрядность кода температуры.

Таким образом, коэффициент сбоев $\gamma_{бит}$ в шесть раз оказывается меньше коэффициента сбойных (аномальных) кадров $\gamma_{кадр}$.

Хотя уровень сбоев по каналу температуры весьма мал, все же следует обратить внимание на повышение надежности устройства вывода данных измерителя температуры.

Оценка качества результатов измерения температуры и относительной электрической проводимости. Как видно из рис. 1, 3,

скорости изменения температуры и электрической проводимости значительно отличаются. Это может быть вызвано, с одной стороны, естественными процессами (например, импульсное поступление более соленой морской воды в колодец, температура которой за время прохождения через соединительную трубу из моря в колодец приближается к температуре воды в колодеце, а соленость за время прохождения через трубу практически не меняется и значительно (на 10÷15 единиц практической солености) превышает соленость воды в колодеце, что и дает резкий скачок электропроводности по сравнению со скачком температуры), с другой – различной инерционностью датчиков измерителей температуры и электропроводности.

Датчик температуры расположен на внутренней стенке прочного контейнера погружного блока, в связи с чем суммарный показатель тепловой инерции измерителя температуры будет определяться собственной инерционностью датчика $\theta_{дат} = 10$ с и инерционностью боковой стенки (прочного контейнера $\theta_{конт}$). При этом показатель тепловой инерции контейнера будет определять временную задержку

$$\Delta \tau_{зад} \approx \theta_{конт} \approx (40 \div 70) \text{ с}$$

(по экспериментальным оценкам).

Суммарный показатель тепловой инерции измерителя температуры может достигать максимальной оценки

$$(\theta_{\Sigma})_{\max} \leq \theta_{конт} + \theta_{дат} = (50 \div 80) \text{ с} .$$

При фактической скорости изменения температуры воды в колодеце

$$\frac{dt}{d\tau} \approx \frac{0,35}{300} = 0,0012 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{с}$$

(см. рис. 1 за 12÷14 августа 2003 г.) динамическая погрешность измерения температуры составляет

$$\Delta t_{дин} = \frac{dt}{d\tau} \cdot (\theta_{\Sigma})_{\max} = (0,06 \div 0,096) \text{ } ^\circ\text{C} .$$

что практически равно допустимой погрешности измерения температуры

$$((\Delta t)_{доп} = \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}) .$$

Однако в реальных морских условиях, особенно в период сгонно-нагонных явлений в Черном море, максимальная скорость изменения температуры может достигать

$$\frac{dt}{d\tau} = (0,01 \div 0,05)^\circ\text{C}/\text{с}.$$

Чтобы при такой скорости изменения температуры динамическая погрешность не превышала половины допустимой суммарной погрешности измерения температуры $(\Delta t)_{\text{доп}} = 0,1^\circ\text{C}$, необходимо обеспечить суммарный показатель тепловой инерции измерителя температуры

$$\theta_{\Sigma} \leq \frac{\frac{1}{2}(\Delta t)_{\text{доп}}}{\left(\frac{dt}{d\tau}\right)_{\text{max}}} = \frac{0,05}{0,05} = 1,0 \text{ с}.$$

Это говорит о том, что датчик температуры должен быть относительно малоинерционным и должен непосредственно омываться исследуемой водой (т.е. должен стоять вне прочного корпуса). Уменьшение постоянной времени датчика температуры также приведет к уменьшению динамической погрешности косвенного измерения солености, так как датчик электропроводности, с помощью которого измеряется относительная электропроводность, используемая для вычисления солености наряду с измеренной температурой воды, практически безинерционен.

Оценка долговременной стабильности показаний среднего значения уровня воды в колодце ИУМ-1 в сравнении со средними показаниями стандартного уровнемера СУМ. Такая проверка дает сравнительные оценки стабильности показаний средних за 10 суток значений уровня воды в колодце ИУМ-1 и СУМ. Это не строгая в метрологическом плане методика оценки стабильности, так как СУМ в принципе не является эталоном или образцовым средством для измерения уровня. Однако оценка этой стабильности имеет существенное значение при интерпретации полученных результатов двумя разными системами измерений

уровня и особенно, например, в оценке размаха колебаний уровня в отдельные периоды, а также для амплитудно-частотного анализа колебаний уровня.

В табл. 1 представлены средние значения уровня по данным ИУМ-1 и СУМ за интервалы времени с 18.08.2003 г. по 28.08.2003 г. и с 18.10.2003 г. по 28.10.2003 года.

Средние значения вычислялись по текущим отсчетам приборов:

– в системе координат ИУМ по показаниям ИУМ

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i; \quad (5)$$

– в общегосударственной системе координат по данным СУМ

$$\bar{H}_{\text{СУМ}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (H_{\text{СУМ}})_i \quad (6)$$

где $n = 2880$, $m = 240$ – количество отсчетов за осредняемый интервал времени, произведенных ИУМ, СУМ соответственно.

Уровень моря $(H_{\text{ИУМ}})_i$ по отсчетам ИУМ-1, приведенных к общегосударственной системе координат вычисляется по данным h_i , $\bar{H}_{\text{СУМ}}$, по следующей формуле

$$(H_{\text{ИУМ}})_i = (\bar{H}_0)_{\text{СУМ}} + h_i, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} (\bar{H}_0)_{\text{СУМ}} &= \frac{1}{2} [(\bar{H}_{\text{СУМ}})_1 + (\bar{H}_{\text{СУМ}})_2] + \\ &+ \frac{1}{2} (\bar{h}_1 + \bar{h}_2) = 439,75 \text{ см} - \end{aligned}$$

– поправка для приведения непосредственно полученного отсчета h_i в системе координат ИУМ к отсчетам в общегосударственной системе координат.

Таблица 1 – Средние значения уровня воды в колодце по показаниям ИУМ-1 и СУМ

Номер серии измерений	Интервал времени измерения	Среднее значение уровня по показаниям ИУМ		Среднее значение уровня по показаниям СУМ, $\bar{H}_{СУМ}$, см	$\overline{\Delta H} = \bar{H}_{ИУМ} - \bar{H}_{СУМ}$, см
		В координатах ИУМ, \bar{h} , см	В общегосударственной системе координат, $\bar{H}_{ИУМ}$, см		
1	(18.08 ÷ 28.08) 2003	29,32*	469,07**	468,91**	+ 0,16
2	(18.10 ÷ 28.10) 2003	31,04*	470,79**	470,95**	- 0,16

* Уровень отсчитывается от точки расположения входного отверстия датчика гидростатического давления ИУМ-1;

** Уровень отсчитывается от геодезического репера относительно нулевого уровня.

Как видно из табл. 1, разница осредненных за 10 суток значений в показаниях ИУМ-1 и СУМ за 2 месяца работы в реальных условиях уровнемерного поста не превышает $(\Delta H)_{2мес} = 0,32$ см или в предположении постоянного темпа дрейфа какого-либо средства измерений средняя разница за месяц составляет $(\Delta H)_{1мес} = \pm 0,16$ см.

Если принять такой темп ухода показаний ИУМ-1 за действительный, погрешность измерения уровня может выйти за пределы указанной в техническом задании величины $(\Delta H)_{дон} = \pm 2$ см за интервал

$$\text{времени } \Delta \tau = \frac{(\Delta H)_{дон}}{(\Delta H)_{мес}} = \frac{2}{0,16} = 12,5 \text{ мес.}$$

Таким образом, ориентировочная экспериментальная оценка стабильности показаний измерителя уровня моря ИУМ-1 показывает, что в течение года погрешность измерений не выйдет за пределы допустимой погрешности, а межповерочный интервал не должен превышать одного года.

В табл. 2 приведены значения максимального и минимального уровней, а также размах колебаний уровня по показаниям ИУМ-1 и СУМ. Оценка уровней производилась по осредненным за 12 часов показаниям ИУМ и СУМ, приведенным на рис. 14, 15.

Как видно из табл. 2, размах колебаний и уровни оказываются разными из-за разной дискретности отсчета в ИУМ-1 (5 мин) и в СУМ (1 час).

При этом ИУМ-1 показывает более близкие к истине значения, т.к. в нем отсчеты производятся практически непрерывно, и минимальные и максимальные уровни всегда попадают в массив данных в отличие от стандартного СУМ.

Краткий анализ изменчивости параметров и уровня воды в колодце в зависимости от гидрометеорологических условий. Известно, что уровень моря изменчив под воздействием различных метеорологических процессов, протекаемых над морем, а также гидрофизических процессов в самом море. В результате неравномерности поля атмосферного давления, изменчивости скорости и направления ветра над морем возникает деформация уровенной поверхности моря. Также уровень подвержен влиянию изменчивости гидрологических процессов в самой водной массе в зависимости от скорости и направления течений, рельефа дна и ускорения Кориолиса. Периоды изменчивости уровня поверхности простираются от долей секунд и амплитуд в несколько миллиметров (капиллярные волны) до глобальных периодов и амплитуд от долей суток до сотен тысяч лет и более и от долей метра до 20–30 м и более.

Таблица 2 – Максимальный и минимальный уровни моря и размах колебаний уровня, показанные ИУМ-1 и СУМ (осреднение 12 часов)

Время наблюдения	Показания ИУМ-1			Показания СУМ		
	Максимальный уровень, см	Минимальный уровень, см	Размах колебаний, см	Максимальный уровень, см	Минимальный уровень, см	Размах колебаний, см
(14.09 ÷ 18.09) 2003	487,50	–	25,06	482,00	–	20,00
22.09.2003	–	462,44		–	462,00	
(24.09 ÷ 25.09) 2003	483,70	–	20,79	480,00	–	15,00
30.09.2003	–	462,91		–	465,00	

Проанализируем изменчивость параметров и уровня воды в колодце в зависимости от изменчивости внешних условий. Как видно на рис. 1÷10 после начала работы ИУМ-1 температура воды в колодце и в море, электропроводимость, соленость, плотность, гидростатическое давление столба воды и уровень воды в колодце, а также ветер не менялись. Начиная с 12.08.03 г. ветер усилился до (10-15) м/с, температура в море упала на (1-2)°С и из моря в колодец вошла вода, скачком повысив соленость, электропроводимость и плотность, которые затем постепенно вернулись к прежнему уровню. При этом уровень воды в колодце упал примерно на 7 см, что, вероятно, вызвано резким подъемом атмосферного давления на 7 мБар. Несмотря на некоторое усиление ветра с 01.09.03 г. по 10.09.03 г. и спад температуры моря и воздуха, температура, соленость и плотность воды в колодце практически не изменялись до 07.10.03 г., когда резкое усиление ветра (до 20-34) м/с и изменение атмосферного давления на +10 мБар, а затем на минус 18 мБар загнало в колодец более теплую и более соленую воду. Это привело к скачку плотности воды в колодце на (0,2÷0,8) %. Изменчивость уровня воды в колодце в период с 11.09.03 г. по 01.10.03 г. и с 06.10.03 г. по 11.10.03 г. визуально трудно связать только с изменчивостью атмосферного давления над регионом Севастополя, однако тенденция понижения уровня воды с ростом атмосферного давления и наоборот весьма заметна. Возможно эта известная связь ча-

стично зашумляется сгонно-нагонными процессами в бухте в зависимости от направления и силы ветра, а также более крупномасштабными процессами над акваторией всего Черного моря.

В связи с расположением уровнемерного колодца на развилке двух Севастопольских бухт (Северная и Южная) уровень моря в этой акватории в своем спектре содержит сейшевые колебания, периоды которых определяются геометрическими размерами (ширина, длина, глубина) этих бухт. В связи с тем, что показания стандартного самописца уровня СУМ снимаются с дискретностью не чаще 1 часа, а информация о короткопериодных колебаниях уровня регистрируется на графических носителях в аналоговой форме, перевод показаний которых в цифровую форму с минутными интервалами весьма трудоемок и громоздок, спектральный состав короткопериодных колебаний уровня оценивался только по 5-минутным отсчетам показаний ИУМ-1.

При этом для оценки спектра короткопериодных колебаний предварительно выбирались участки записи, на которых визуально наблюдается стационарность процесса (относительное постоянство среднего уровня или монотонные подъемы и спады среднего уровня за периоды времени от 1 до 10 суток).

На рис. 16 показаны результаты гармонического анализа изменчивости уровня.

зафиксированные на рис. 11. Как видно из результатов анализа, в спектре короткопериодных колебаний уровня в явной форме наблюдаются колебания с периодами 26; 30; 42; 50; 55 минут, 1,25; 2,6; 12,25 и 24 часа.

Спектр длиннопериодных колебаний (периоды более 24 часов) оценивался по сглаженным показаниям уровня с интервалом скользящего осреднения 12 часов. На рис. 17, 18 показаны результаты гармонического анализа осредненных рядов по показаниям ИУМ-1 и СУМ соответственно. Как видно из этих рисунков, периоды значимых гармоник колебаний уровня воды в колодце, выявленные по данным ИУМ и СУМ, совпадают, а относительные амплитуды этих гармоник различны в связи с различной дискретностью отсчетов по времени (ИУМ – 5 мин, СУМ – 1 час) и сильным влиянием высокочастотной части спектра на энергию длиннопериодных колебаний в данных СУМ из-за явления элиазинга.

В связи с тем, что короткопериодные колебания в Севастопольской бухте, вызванные сейшмами, зависят в большей мере от геометрических параметров бухты, которые незначительно меняются во времени, произведем сравнение информации, полученной ИУМ-1 в 2003 г. с результатами измерений, произведенных в 2001–2002 гг. в том же уровнемерном колодце и опубликованными в работе [2].

Для измерений уровня моря авторами этой работы использовался модернизированный самописец уровня моря СУМ. Модернизация заключалась в установке на валу самописца преобразователя "угол–код" с устройством автоматического считывания, накопления и обработки информации с помощью ПЭВМ. Это позволило считывать информацию об уровне с периодами 5 мин. При статистической обработке короткопериодных колебаний были обнаружены колебания уровня моря на мысе Павловский с периодами 54 минуты; 1,25; 2,5; 12 и 24 часа. Наблюдались колебания и с меньшими периодами (48 мин, 27 мин.), но, как отмечают авторы работы [2], они не были статистически значимыми.

Нетрудно заметить, что наблюдаемые в 2001 году короткопериодные колебания и их уровни весьма близки к периодам, наблюдаемым в 2003 году с помощью ИУМ-1.

Методические особенности измерения уровня моря по результатам наблюдений в уровнемерных колодцах. Как уже отмечалось выше, вода в колодце может значительно отличаться от морской воды по температуре, солености, плотности, во-первых, в связи с недостаточным обменом воды в колодце с морем, во-вторых, из-за подтока в колодец пресных грунтовых или высокоминерализованных вод. При существующей практике измерения уровня с помощью гидростатических (поплавковых) мореографов с невысокой точностью измерения в уровнемерных колодцах, по-видимому, не обращали внимания на возможное отличие плотности воды в море и в колодце в пределах 3 %. Если в Азово-Черноморском бассейне соленость лежит в пределах 11–22 единиц практической солености, а в колодце 0 е.п.с., то разница плотности воды может достигать (0,9+1,8) % и настолько же могут отличаться абсолютные уровни воды в море и в колодце. При перепаде реального уровня на $\pm 0,5$ м только эта методическая погрешность в оценке перепада может достигать (0,005+0,01) м, а это уже предельно допустимая суммарная (инструментальная и методическая) погрешность измерения уровня в Средиземноморском (в том числе и Азово-Черноморском) бассейне (по решению международных организаций).

Применение уровнемеров типа ИУМ-1 в уровнемерных колодцах с вынесенными в море измерителями температуры и электропроводности позволит свести упомянутую методическую погрешность практически до нуля путем внесения поправок на различие измеренной плотности воды в колодце и в море.

Заключение. В результате опытной эксплуатации установлено, что выбранные технические решения, заложенные в измерители температуры, электропроводности, гидростатического давления и уровня воды, в систему сбора, хранения и вывода информации в основном отвечают заданным техническим и эксплуатационным требованиям на ИУМ-1.

Для обеспечения большей эксплуатационной и метрологической надежности измерителя температуры необходимо доработать аппаратный алгоритм опроса и вывода информации с датчика температуры, уменьшить показатель тепловой инерции

датчика температуры до 1 с и вывести первичный преобразователь температуры из прочного контейнера ИУМ.

Для обеспечения долговременной стабильности измерителя электропроводимости необходимо обеспечить надежное крепление токовых электродов в датчике электропроводимости.

Для уменьшения методической погрешности измерения уровня воды в море по результатам измерения в уровнемерном колодце с недостаточным водообменом с морем, необходимо в колодце устанавливать уровнемер типа ИУМ-1 и дополнительный модуль с измерителями температуры и

электропроводимости непосредственно в море для внесения поправок на различие плотности в море и в колодце.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайский В.А., Греков Н.А., Гайский П.В. и др. СТД-измеритель уровня моря ИУМ-1. Системы контроля окружающей среды. Сб. научн. тр. / НАН Украины, МГИ: – Севастополь. 2003. – С. 5–12.

2. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Репетин Л.Н., Хмара Т.В. "Сейши в Севастопольской бухте" // Труды УкрНИГМИ, 2003. Выпуск 250. – С. 342–353.