

**МЕТОДИЧЕСКИЕ, ПРОГРАММНО-  
АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
ГИДРОЛОГОХИМИЧЕСКОГО  
МОДУЛЯ МОРСКОЙ  
ПРИБРЕЖНОЙ СТАНЦИИ БРИЗ-1**

*П.В. Гайский, О.Ф. Дмитриев,  
В.И. Забурдаев, А.В. Клименко,  
К.А. Кузьмин, С.В. Казанцев*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины,  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoimhi@inbox.ru

*В статье обсуждаются результаты опытной эксплуатации в 2008 – 2011 годах гидрохимического модуля комплекса оборудования для морской прибрежной станции БРИЗ-1 и даются рекомендации по видам и срокам проведения профилактических работ для обеспечения заданной точности измерений.*

**Введение.** Комплекс оборудования морской прибрежной станции БРИЗ-1 (КО МПС) [1, 2], был разработан и изготовлен Морским гидрофизическим институтом НАН Украины совместно с НТК "Океан-МГИ" по заказу Гидрометеослужбы Украины и в 2007 году два опытных образца прошли государственные приемочные испытания. Начиная с 2008 по 2011 гг. в летне-осенние периоды (с мая по ноябрь), комплекс оборудования проходил опытную эксплуатацию на океанографической платформе экспериментального отделения МГИ НАН Украины (пос. Качивели, АРК). Главная цель этих работ заключалась в экспериментальной оценке долговременной стабильности измерительных каналов, надежности станции в целом, включая передачу информации по системе ИНТЕРНЕТ с места постановки в место сбора информации (МГИ НАН Украины, г. Севастополь). Предварительные результаты испытаний КО МПС были ранее опубликованы в работе [3], а в настоящей статье приводятся обобщенные данные за четыре года опытной эксплуатации и даются дополнительные рекомендации по обеспечению долговременной работоспособности рабочих образцов модуля гидрологохимического

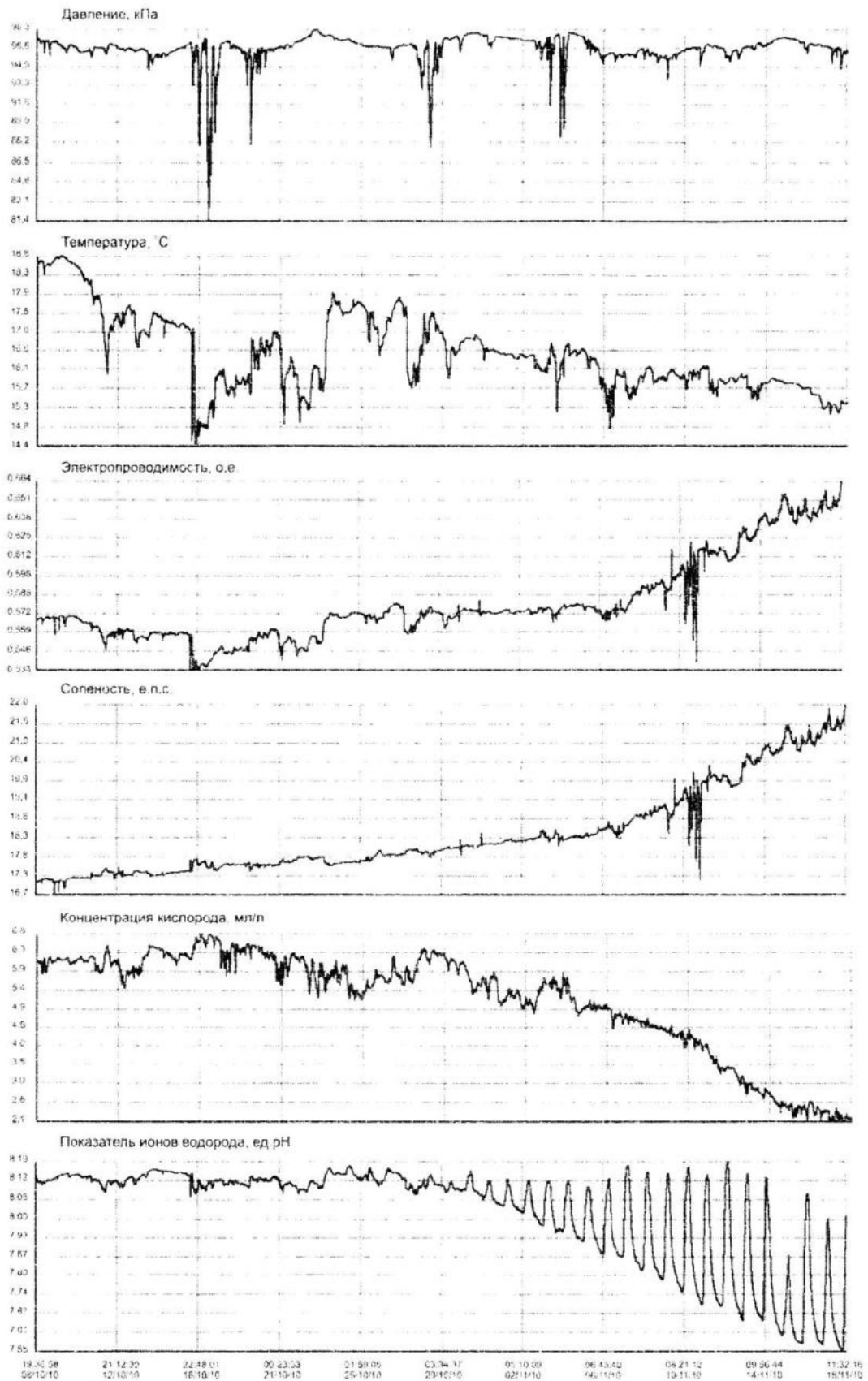
(МГХ) станции БРИЗ-1. Структурные схемы МГХ в целом и отдельных измерительных каналов показаны в работе [2].

На рис. 1 приведены показания измерительных каналов МГХ за период октябрь – ноябрь 2010 г.

**Долговременная стабильность измерительных каналов. Канал гидростатического давления.** В качестве первичного измерительного преобразователя (ПИП) давления использован датчик типа МРХ 4100 фирмы Motorola с защитой от прямого воздействия морской воды.

За четыре года после изготовления и эксплуатации МГХ в морских условиях (в общей сложности около 12 месяцев) метрологические характеристики измерительного канала абсолютного давления (гидростатическое плюс атмосферное), включая первичный измерительный преобразователь (собственно датчик давления) и вторичный преобразователь (АЦП с коммутатором каналов), за период с 01.2007 г. по 05.2009 г. не вышли за пределы  $\pm(-1,25 < \Delta P(\text{кПа}) < 1,8)$  [3] и  $-0,07 < \Delta P(\text{кПа}) < 0,84$  за период с 05.2010 г. по 05.2011 г., что меньше допустимой погрешности измерения ( $\Delta P_{\text{доп}} \leq \pm 2 \text{кПа}$ ), указанной в эксплуатационной документации за период эксплуатации в течение двух лет [4]. В эквиваленте глубины погрешность измерительного канала давления не превышает  $\pm 0,18 \text{ м}$ .

**Канал измерения температуры.** Схема измерения температуры описана в работе [1] и содержит шестиплечий резистивный мост с двумя плагинными датчиками температуры типа HEL-700, фирмы Honeywell. По данным периодических проверок комплекта МГХ зав. № 02, проводимых в отделе метрологии МГИ НАН Украины в 2007 и 2009 гг., установлено, что индивидуальная нестабильность датчиков температуры и вторичных преобразователей аналоговых величин в цифровой выходной сигнал за 17 месяцев с 02.2007 г. по 05.2009 г. для датчика № 01 не превышает  $(\Delta t)_1 = (-0,026 \div -0,007)^\circ\text{C}$  и для датчика № 02  $(\Delta t)_2 = (0,05 \div 0,04)^\circ\text{C}$ , включая периоды хранения (около 13 месяцев) и работы в море (около 5 месяцев).



Р и с. 1. Изменчивость во времени измеряемых параметров в период опытной эксплуатации МГХ в 2010 г.

Погрешность среднего значения температуры, вычисленная по данным обоих датчиков, не превышает  $\overline{\Delta t} = (-0,01 \div 0,015)^\circ\text{C}$  за тот же период хранения и эксплуатации.

Комплект датчиков температуры МГХ зав. № 01 эксплуатировался в течение года в период с 05.2010 г. по 05.2011 г. в составе МГХ зав. № 02. За этот период уходы градуировочных характеристик, включая нестабильность вторичных преобразователей аналоговых величин в цифровой выходной сигнал лежат в пределах  $(\Delta t)_3 = -(0,073 \div 0,09)^\circ\text{C}$  для датчика № 03, для датчика № 04 – в пределах  $(\Delta t)_4 = (0,053 \div 0,06)^\circ\text{C}$ , что соответствует погрешности измерения  $\overline{\Delta t} = -(0,018 \div 0,0065)^\circ\text{C}$  средней температуры. Это говорит о том, что канал измерения температуры МГХ не выходит за пределы допустимой погрешности в течение двух лет эксплуатации [4].

Канал измерения относительной электрической проводимости. Как отмечалось в работе [5], измерительный канал относительной электрической проводимости морской воды с контактным датчиком и схемой, описанной в статье [5], при работе в морской воде, очищенной от планктона и биоорганизмов (в лабораторных условиях) не должен выходить за пределы допустимой погрешности ( $\Delta R \leq 0,003$ ) в течение восьми месяцев. Электронная часть вторичного преобразователя относительной электрической проводимости с алгоритмической коррекцией влияния температуры электронных узлов схемы на статическую характеристику преобразования, а также учет изменчивости геометрической постоянной контактного датчика электропроводимости от температуры и давления позволили добиться стабильности показаний измерительного канала МГХ зав. № 02 на уровне  $\Delta R \approx 0,00013$ , что в эквиваленте солёности составляет  $\Delta S = 0,003 \div 0,005$ .

Однако в реальных условиях эксплуатации не удается добиться длительной стабильности измерительного канала электропроводимости из-за обрастания тела датчика, потенциальных и то-

ковых электродов кондуктометрической ячейки биологическими организмами типа баянуса. При этом не только неконтролируемо изменяется геометрическая постоянная датчика, но и происходит простое электрическое шунтирование телом баянусов пространства между потенциальными электродами датчика. По результатам первой долговременной постановки МПС БРИЗ-1 в 2009 г. за время пребывания станции в море около четырех месяцев был обнаружен уход показаний канала электропроводимости на величину  $\Delta R = 0,0035$ , что превысило значение допустимой погрешности  $(\Delta R)_{\text{дон}} \leq 0,003$  [4]. Как показали постановки летом – осенью 2010 г., темп обрастания датчика электропроводимости оказался намного выше 2009 года и выход за пределы допустимой погрешности произошел за 25 – 28 суток нахождения в погруженном состоянии. Дальнейшая метрологическая проверка показала, что вся причина выхода канала за допустимые границы погрешности вызвана обрастанием контактного датчика электропроводимости биологическими объектами (главным образом – баянусом).

Таким образом, для обеспечения нормальной работоспособности измерительного канала относительной электрической проводимости (а, следовательно, и практической солёности), необходимо через 25 – 28 суток поднимать станцию и производить профилактическую чистку датчика электропроводимости или замену его другим комплектом с известной геометрической постоянной.

Канал концентрации растворенного кислорода. Примененная схема измерения концентрации растворенного кислорода в МГХ приведена и описана в работе [1]. В связи с особенностью работы полярографических датчиков концентрации кислорода с полупроницаемыми пленками, связанной со скоростью обтекания чувствительной зоны датчика морской водой, полностью решить проблему измерения концентрации кислорода с погрешностью  $\pm 0,3$  мл/л [4] оказалось возможным при скорости обтекания более 0,1 м/с. На рисунке 2 показаны

результаты эксперимента, выполненного с помощью гидродинамического стенда для трех значений концентраций кислорода. Изменчивость насыщающей концентрации кислорода в чистой водопроводной воде, находящейся в гидродинамическом стенде, достигалась путем изменения температуры воды при интенсивном обогащении воды кислородом воздуха. Как видно из рисунка 2 «недоход» (погрешность) показаний канала кислорода при скорости обтекания датчика кислорода более 0,1 м/с не превышает  $(\Delta O_2)_{\max} = (C_{O_2})_{\max} - (C_{O_2})_{\text{МГХ}}$  (для случая в) = 6,75 - 6,54 = 0,21 мл/л.

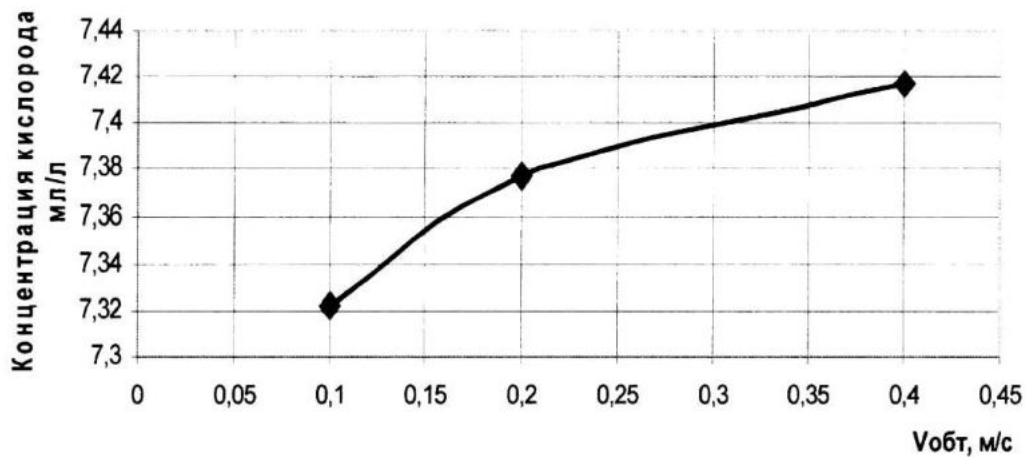
В процессе опытной эксплуатации в 2009, 2010 и 2011 годах, так же как и у канала электрической проводимости, было обнаружено интенсивное обрастание чувствительной зоны датчика кислорода (полупроницаемой пленки) баянусом, что приводило через 20 суток к значительному (более допустимой погрешности измерения кислорода) снижению показаний концентрации кислорода из-за уменьшения рабочей площади пленки датчика, так и, вероятно, из-за интенсивного выедания кислорода живыми организмами в припленочной области датчика. При этом какого-либо суточного хода (возрастания и убывания кислорода) не наблюдалось, а было монотонное понижение показаний со скоростью (0,2 – 0,3) (мл/л) в сутки.

Все это говорит о том, что по каналу измерения кислорода необходимо производить профилактические осмотры станции не реже 20 суток с обязательной перезаделкой полупроводящей пленки датчика кислорода или его полная замена на датчик с известной статической функцией преобразования.

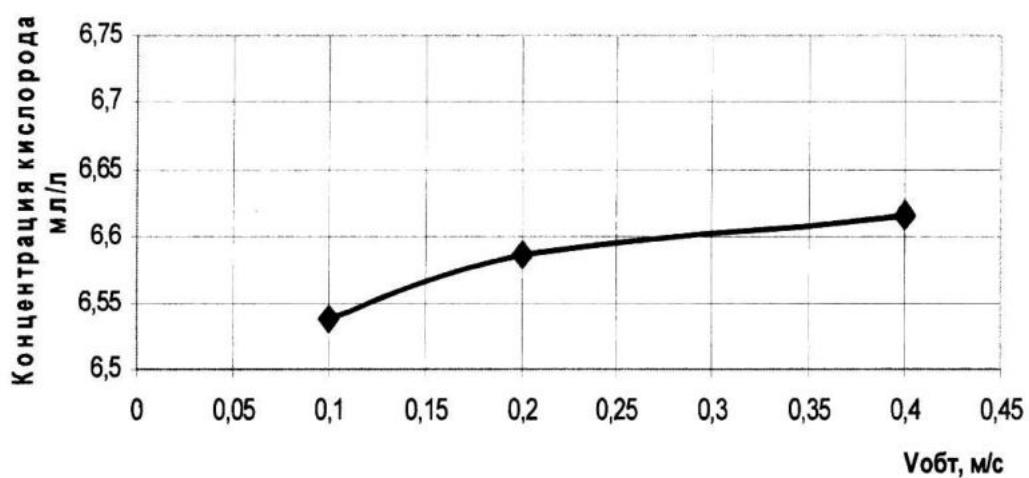
Канал измерения показателя ионов водорода (рН). Использование стандартного электрохимического датчика рН типа ЭСЛ-43-07, как и для всех электрохимических датчиков, даже при работе в лабораторных условиях требует четкого

соблюдения чистоты электрода и постоянного контроля за нормальной работой вспомогательного электрода, а именно за режимом протекания и стабильности концентрации буферного раствора хлористого калия (KCl). Система подачи буферного раствора в вспомогательный электрод в опытном образце МГХ решена удачно с помощью применения системы переливания крови с использованием штатного пластикового пакета, предназначенного для кровезаменителя, в который заливается буферный раствор, и штатного шланга, подсоединяемого к проточному вспомогательному электроду. Одной заправки буферного раствора (~ 500 мл) оказалось достаточно для нормальной работы канала в течение четырех месяцев (опытная эксплуатация 2009 г.). Как показано на рисунке 1 в течение 16 – 20 суток канал измерения рН работает нормально (колебания показаний не выходят за пределы  $\Delta pH \approx \pm 0.1$  ед. рН), а затем начинается проявление суточной изменчивости показаний с темпом уменьшения рН ночью, равным  $\approx 0,026$  ед. рН за сутки, при дневном колебании не более  $\approx \pm 0,07$  за 16 – 20 суток. И в этом случае, как с каналами электропроводимости и концентрации кислорода проявилось влияние биоорганизмов (того же баянуса), которые осели на чувствительной поверхности измерительного электрода рН и изменяют в поверхностном слое около электрода кислотность (щелочность) морской воды своей суточной жизнедеятельностью.

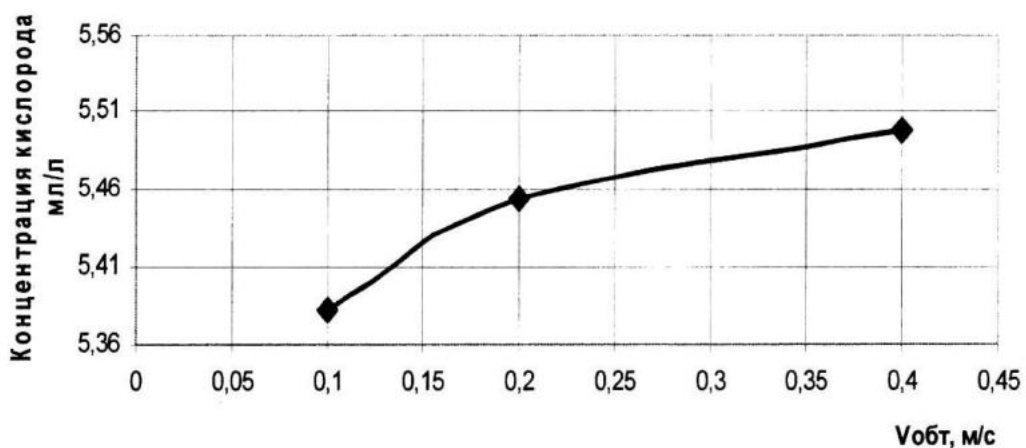
И этот результат опытной эксплуатации МГХ в 2008 – 2011 годах говорит о том, что для обеспечения нормальной работоспособности канала измерения рН необходимо проведение профилактических работ с интервалом не реже 16 – 20 суток для очистки измерительного и вспомогательного электродов или их замены новыми электродами, а также для перезаполнения пакета с буферным раствором.



а)



б)



в)

Р и с. 2. Изменчивость показаний канала измерения концентрации растворённого кислорода в зависимости от скорости обтекания датчика кислорода ( $V_{обт.}$ , м/с) для разных насыщающих концентраций кислорода  $(C_{O_2})_{нас.}$ , мл/л, и температуры воды.  
 а –  $(C_{O_2})_{нас.} = 7,44$  мл/л при  $t = 12,6^\circ\text{C}$ ; б –  $(C_{O_2})_{нас.} = 6,75$  мл/л при  $t = 17^\circ\text{C}$ ;  
 в –  $(C_{O_2})_{нас.} = 5,56$  мл/л при  $t = 27^\circ\text{C}$ .



**Программно-алгоритмическое обеспечение.** Комплект программного обеспечения первичной обработки информации (вычисление измеряемых параметров по цифровым массивам данных в соответствии со статическими функциями преобразования в единицах физических величин, осреднение информации, коррекция аномальных отсчетов и др.) полностью удовлетворяет предъявленным международным требованиям и практически не нуждается в доработке. Вместе с тем алгоритм перевода практической солёности  $S_p$ , вычисляемой по шкале ШПС-1978 [6], как прямо измеряемого параметра в величины абсолютной солёности  $S_A$  и расчет плотности морской воды в месте измерения  $\rho_{in situ}$  должны соответствовать вновь вводимому с 2012 года уравнению состояния морской воды на основе функции Гиббса TEOS-10 [7]. Также это касается алгоритмов вычисления вторичных термодинамических параметров (скорости распространения звука, удельной теплоемкости, теплосодержания и т.п.). Однако эти работы могут вестись в период доработки опытных образцов комплекса оборудования МПС до стадии серийных образцов при обязательном дополнительном финансировании со стороны Гидрометслужбы Украины.

**Показатели надежности сбора, хранения и передачи информации.** Показатели метрологической надежности индивидуальных измерительных каналов приведены ранее, а в данном разделе рассматривается показатель надежности, связанный только с процессом передачи информации от измерительного канала до ее хранилища в виде банка данных института как центра ее сбора. В целом собрать серьезный объем информации за длительное время оказалось невозможно из-за частых сбоев в подаче питающего напряжения на океанографическую платформу. Однако объем информации, полученный за период опытной эксплуатации в 2010 году позволяет сделать оценку надежности передачи

информации от измерительных каналов МГХ в погружном устройстве в бортовой блок памяти, располагаемом непосредственно на самой платформе без передачи информации на берег и в центр сбора в МГИ НАН Украины. Этот показатель «сбоев» в информации МГХ не превышает  $3 \cdot 10^{-7}$ .

Для обеспечения максимальной надежности сбора информации был принят вариант обязательного автономного сбора и хранения информации в бортовом блоке комплекта оборудования МПС с параллельной передачей информации по сетям ИНТЕРНЕТА для оперативного контроля работы станции.

На качество получаемой информации оказывает влияние способ заглубления МГХ в части обеспечения стабильной глубины погружения и, следовательно, горизонта наблюдения. При наличии вертикального градиента (градиента по глубине) измеряемого параметра, в случае изменчивости горизонтальной скорости течения в верхнем слое моря, произойдет смещение поддерживающего троса на некоторый угол и МГХ попадет на другой горизонт по глубине, где есть отличие измеряемого параметра, которое ошибочно будет воспринято как временная изменчивость этого параметра на ранее установленном горизонте. Внесение поправок по величинам изменчивости гидростатического давления, (т.е. измеряемого каналом давления) невозможно из-за неизвестности реального вертикального градиента регистрируемого параметра. В связи с этим, при внедрении комплекса оборудования МПС в широкую практику наблюдений, необходимо обеспечивать стабильное поддержание горизонта наблюдений, например, такими способами, как показано в работе [1] на рисунке 15 (варианты а, б, в).

**Требования к конструктивно-технологическому исполнению погружного блока МГХ для обеспечения долговременной механической надежности и оперативности профилактического обслуживания.** Опытные образцы комплекта оборудования для морской прибрежной станции БРИЗ-1 разра-

батывались и создавались, во-первых, на базе конструкторско-технологического опыта МГИ НАН Украины по разработке зондирующих приборов периодического (непостоянного) погружения – подъема с возможностью профилактического осмотра и устранения воздействия морской воды и биоорганизмов на элементы конструкции и первичные измерительные преобразователи путем промывки и ополаскивания пресной водой в период нахождения зонда на палубе судна или на платформе. Во-вторых, разработка и изготовление комплекта оборудования МПС велись при исключительно скудном финансировании со стороны Заказчика из-за общих трудностей с финансами в Украине в период 2002 – 2007 годов. На выделенные средства удалось создать только то оборудование, которое подтвердило в принципе возможность создания станции с необходимыми информационно-метрологическими характеристиками и опытная эксплуатация это доказала. Однако интенсивное воздействие морской воды на разнородные металлы (нержавеющая сталь, титан, анодированный алюминий и др.), близкое присутствие стальных элементов конструкции платформы, блуждающие токи в приплатформенном водном пространстве вызвали интенсивное обрастание и коррозию элементов механической конструкции погружного блока МГХ, что приводило к выходу метрологических характеристик таких измерительных каналов, как электропроводимость, растворенный кислород, рН за пределы допустимых значений через 16 – 20 суток непрерывного нахождения в морской воде, а также к нарушению герметичности в местах вводов в прочный корпус из алюминия датчиков с корпусом из нержавеющей стали или титана. При этом анодированный слой алюминия разрушался, герметичность нарушалась, проникающая влага в электронные блоки выводила их из строя.

В процессе профилактической и особенно механической очистки датчиков

электропроводимости от обрастания биологическими объектами нарушалась геометрическая постоянная датчиков, требовалась повторная метрологическая аттестация канала, что занимало не менее 2-х суток дополнительных профилактических работ. Также полной переделки полупроницаемой пленки, заполнения новой порцией буферного раствора КСl, новой градуировки требуют датчики кислорода, на что необходимо еще около 1 – 2 суток. Особая тщательность и аккуратность требуется при чистке измерительного и вспомогательного электродов в канале измерения рН и также новая калибровка.

В связи с этим, для обеспечения наименьшего технологического перерыва в натурных наблюдениях, необходимо иметь два комплекта погружного оборудования МПС на каждом морском посту гидрометеонаблюдений, которые должны периодически меняться.

Что касается обеспечения долговременной стойкости конструкций прочных корпусов и герметичности вводов разъемов, первичных измерительных преобразователей, при изготовлении серийных образцов необходимо использовать стойкие в морской воде материалы (нержавеющая сталь типа Х18Н9Т, титановые сплавы или пластик типа ПОМ-900). Поскольку глубина постановки невелика (не более 50 м), в конструкциях не требуется большой толщины стенок контейнеров. При этом дополнительная конструкторская доработка документации не займет больших средств и времени, и даже может уменьшить общие затраты при серийном изготовлении образцов гидрологохимических модулей МПС БРИЗ-1.

**Заключение.** Опытная эксплуатация гидрологохимического модуля МПС БРИЗ-1 показала, что выбранный вариант построения электронной части всех измерительных каналов, системы сбора и хранения информации полностью

удовлетворяет требованиям технического задания и технических условий. Также полностью соответствуют указанным требованиям первичные измерительные преобразователи (датчики) в каналах измерения давления и температуры. Что касается измерительных каналов относительной электрической проводимости, концентрации растворенного кислорода, показателя активности ионов водорода, первичные преобразователи которых находятся в прямом контакте с морской водой и с биологическими организмами, которые в ней существуют (особенно с баянусами), обеспечивают свои метрологические характеристики только в течение 16 – 20 (рН) и 20 – 25 (электропроводимость, концентрация кислорода) суток. После этого в обязательном порядке должны проводиться профилактические работы по очистке первичных преобразователей от обрастания биологическими организмами. В целях обеспечения максимальной непрерывности и достоверности получаемых результатов (перерыв в работе не более 1 – 2 часов за 16 – 20 суток непрерывной работы) на посту гидрометеонаблюдений необходимо иметь два взаимозаменяемых комплекта погружаемого устройства МГХ за время работы одного из которых второй должен проходить профилактическое обслуживание.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гайский В.А., Греков Н.А., Гайский П.В. и др.* Морская прибрежная станция БРИЗ-1. Системы контроля окружающей среды // Средства и информационные технологии / Сб. научн. тр. НАН Украины. МГИ: – Севастополь. 2006. – С. 9 – 23.
2. *Трофименко В.А., Гайский В.А.* Оснащение сети станций гидрометеослужбы Украины современными системами контроля окружающей среды. Системы контроля окружающей среды // Средства, информационные технологии и мониторинг / Сб. научн. тр. НАН Украины. МГИ: – Севастополь. 2008. – С. 11–44.
3. *Гайский П.В., Клименко А.В., Забурдаев В.И. и др.* Предварительные результаты опытной эксплуатации морской прибрежной станции «Бриз-1». Системы контроля окружающей среды // Средства, информационные технологии и мониторинг / Сб. научн. тр. НАН Украины. МГИ: – Севастополь. 2009. – С. 27 – 36.
4. *Комплекс оборудования для морской прибрежной гидрометеорологической станции «БРИЗ».* Формуляр. УРИЕ. 416531. 001 ФО.
5. *Клименко А.В., Кузьмин К.А., Алексеев А.П. и др.* Результаты исследования метрологических характеристик измерителя относительной электропроводимости гидрологохимического модуля морской прибрежной станции. Системы контроля окружающей среды. // Средства, информационные технологии и мониторинг / Сб. научн. тр. НАН Украины. МГИ: – Севастополь. 2007. – С. 54 – 61.
6. *UNESCO, 1981.* The practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Sea Water 1980. Techn. Pap. Mar. Sci, 36: 25 pp.
7. *IOC, SCOR and IAPSO, 2010:* The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56, UNESCO (English), 196 pp.