

Научная статья
УДК 551.46.086
EDN NDHYGJ

Применение платформы *Raspberry Pi* для автоматизации натуральных измерений морской среды, передачи и хранения полученных данных

А. Ф. Розвадовский

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
e-mail: rozvadovsky@yandex.ru

Аннотация

Описана технология реализации рабочего места на основе аппаратно-программной платформы *Raspberry Pi* в качестве управляющего персонального компьютера метеостанции *Davis Vantage Pro 2* и представлен пример ее использования для контроля и мониторинга морской среды. Рабочее место позволяет собирать данные системы датчиков, измеряющих характеристики морской среды в натуральных условиях, и передавать их в удаленный центр сбора данных через Интернет, хранить и выполнять резервное копирование. Рабочее место обеспечивает пользователям доступ к данным и может быть использовано как средство удаленного управления работой датчиков. Представлены алгоритмы организации рабочего места, опирающиеся на современные технологии сбора и передачи данных. Детально описана реализация рабочего места на примере удаленного контроля метеостанции *Davis Vantage Pro 2*, установленной на стационарной океанографической платформе ФГБУН ФИЦ МГИ в пгт Качивели для непрерывных измерений параметров приводного слоя атмосферы. Удаленный контроль организован на базе аппаратно-программной платформы одноплатного персонального компьютера *Raspberry Pi*. Двухлетние испытания системы позволяют сделать вывод о ее надежности и высокой эффективности. Предлагаемые принципы и алгоритмы могут быть использованы при организации удаленных рабочих мест для выполнения океанологических измерений в прибрежных зонах с доступом к Интернету.

Ключевые слова: автоматизация, натурные измерения, морская среда, удаленное рабочее место, аппаратно-программная платформа, *Raspberry Pi*, метеостанция, *Davis Vantage Pro 2*, облачные хранилища, океанографическая платформа, Качивели

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0001 «Фундаментальные исследования процессов, определяющих потоки вещества и энергии в морской среде и на ее границах, состояние и эволюцию физической и биогеохимической структуры морских систем в современных условиях».

© Розвадовский А. Ф., 2024



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Розвадовский А. Ф. Применение платформы *Raspberry Pi* для автоматизации натурных измерений морской среды, передачи и хранения полученных данных // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 4. С. 117–130. EDN NDHYGJ.

Application of the Raspberry Pi for *In Situ* Measurement Automation and Data Transfer and Storage

A. F. Rozvadovskiy

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia
e-mail: rozvadovsky@yandex.ru

Abstract

The paper considers issues of organization of remote workplaces for automation of *in situ* measurements of the marine environment. The workplace allows collection of data from a sensor system that measures characteristics of the marine environment in natural conditions; to transfer data to a remote data center via the Internet; to store and backup data. The paper presents algorithms for workplace organization based on modern technologies for data collection and transmission. The implementation of the workplace is detailed on the example of remote control of the weather station Davis Vantage Pro 2. This weather station was installed on the stationary oceanographic platform in Katsiveli to continuously measure parameters of the atmospheric surface layer. The remote control was organized on the basis of the hardware and software platform of a single-board personal computer Raspberry Pi. Two-year tests of the system allow concluding about its reliability and high efficiency. The proposed principles and algorithms can be applied to organization of remote workplaces for performing oceanological measurements in coastal areas with Internet access.

Keywords: automation, *in situ* measurements, marine environment, remote workplace, hardware and software platform, *Raspberry Pi*, weather station, *Davis Vantage Pro 2*, cloud storage, oceanographic platform, Katsiveli

Acknowledgments: The work was carried out under state assignment of MHI RAS FNNN-2024-0001 “Fundamental research of the processes determining the flows of matter and energy in the marine environment and at its borders, the state and evolution of the physical and biogeochemical structure of marine systems in modern conditions”.

For citation: Rozvadovskiy, A.F., 2024. Application of the Raspberry Pi for *In Situ* Measurement Automation and Data Transfer and Storage. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 117–130.

Введение

Мониторинг морской среды необходим для обеспечения экологической безопасности прибрежных зон, контроля их ресурсов, исследования их текущего состояния и его трендов. Задачи мониторинга предполагают проведение непрерывных измерений. При этом получаемые данные измерений должны быть доступны в любой момент времени для последующей обработки и анализа. Для организации этого процесса наблюдений необходимо создание автоматизированных удаленных рабочих мест, обеспечивающих надежное подключение

к измерительному оборудованию для управления и считывания данных без участия оператора. Особую значимость решение данной задачи приобретает в свете того, что таким образом можно модернизировать уже имеющиеся аппаратно-программные комплексы (АПК) для измерения, регистрации и хранения данных (например, портативные метеостанции, волнографы и др.), которые предполагают длительную автономную работу, но не имеют собственных встроенных средств удаленного управления, контроля и конфигурирования.

В литературе подробно рассмотрены методы мониторинга морской поверхности [1–4], однако вопросам организации удаленных рабочих мест для регистрации данных, их обработки и последующего хранения уделено значительно меньше внимания [5]. В работе [6] приведен обзор развития системных решений метеостанций начиная с середины 1990-х гг. Из него видно, что развитие средств измерения параметров окружающей среды совпало с трендом развития телекоммуникационных и компьютерных технологий. Данные технологии метеоизмерений базируются на программно-аппаратных комплексах, которые регистрируют данные от датчиков и передают их на удаленный терминал по радиоканалу. В работе [6] показаны варианты реализаций программно-аппаратных метеокомплексов, в том числе отмечены решения ^{1), 2), 3), 4)}, но самому вопросу создания автоматизированных рабочих мест уделено недостаточно внимания. Фактически данное направление (автоматизация рабочих мест) оказывается «растворено» в самом аппаратно-программном комплексе метеостанций.

Более детально и скрупулезно к вопросу автоматизации рабочих мест подходят при разработке программных комплексов для сбора, визуализации, архивирования, обработки и передачи данных гидрометеорологических измерений, поступающих от автоматических гидрометеорологических комплексов, в частности при мониторинге морской поверхности. Одним из наиболее известных является программный комплекс «АЛЬМЕТА» (*ALMETA*) ⁵⁾, представляющий собой специальное программное обеспечение, функционирующее на персональном компьютере с операционной системой (ОС) *Windows*, обеспечивающий сбор и обработку гидрометеорологической информации.

¹⁾ Pat. no. USRE42057E1, Int. Cl. G01W 1/00 (2006.01), G01P 13/00 (2006.01). N 11/485,648. Weather station / Wilhelm R., Haupt F. S. Filed 13 July 2006 ; date of reissued patent 25 January 2011. 7 p.

²⁾ Пат. 2472186С2 Российская Федерация, МПК G01W 1/00 (2006.01). Сеть автономных постов мониторинга окружающей среды (апмос) / Стребков Д. С., Доржиев С. С., Базарова Е. Г.; заявитель ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии. № 2011110187/28 ; заявл. 18.03.11 ; опубл. 10.01.13 Бюл. № 1. 7 с.

³⁾ Pat. no. WO2009015370A1, Int. Pat. Cl. G01W 1/10 (2006.01), G04B 47/06 (2006.01), G01W 1/04 (2006.01) N PCT/US2008/071259. Pocket weather station / Fisher G. A. Filed 25 July 2008 ; publication date 29 January 2009. 25 p.

⁴⁾ Pat. no. US9301460B2, Int.Cl. G05D 11/00 (2006.01), AO1G 25/16 (2006.01) Irrigation Controller with Weather Station : N 13/406,410 / Runge T. H. Filed 27 February 2012 : Date of Patent : 5 April 2016. 25 p.

⁵⁾ Программный комплекс для автоматизированных гидрометеорологических комплексов *ALMETA*. Руководство пользователя. 2018. 47 с. URL: https://lanit.ru/marketing/materials/gidrometeoresheniya/almeta/SPO_Almeta_UG.pdf (дата обращения: 27.11.2024).

Однако его гибкость и функционал избыточны для решения частных задач натуральных измерений морской среды, тем более что он достаточно требователен к вычислительным ресурсам персонального компьютера.

Менее требовательными к ресурсам являются технические решения на базе аппаратно-программных платформ *Arduino* и *Raspberry Pi*. В работах [7–11] приведены примеры реализаций метеостанций на базе *Arduino*, а в работах [12–20] – на базе *Raspberry Pi*. Но это аппаратно-программные реализации именно метеостанций, регистрирующих и обрабатывающих результаты измерений. Вопросы автоматизации и организации удаленных рабочих мест в данных работах почти не рассматриваются.

В Российской Федерации действуют «Рекомендации по эксплуатации автоматизированных метеорологических комплексов в наблюдательных подразделениях» (Р 52.04.818-2014), в которых изложены требования к установке, обслуживанию и эксплуатации автоматизированных метеорологических комплексов (АМК), описан типовой порядок производства метеорологических наблюдений в наблюдательных подразделениях (НП), оснащенных АМК, а также действия персонала НП в случае выхода АМК из строя. Однако данные рекомендации не позволяют сформулировать технические требования к АПК, отвечающим за автоматизацию измерений и работу АПК в автономном режиме. Целью разработки является создание удаленного автоматизированного рабочего места для непрерывного мониторинга морской поверхности и параметров окружающей среды при помощи одноплатных компьютеров. В работе описана новая технология реализации рабочего места на основе аппаратно-программной платформы *Raspberry Pi*, используемой в качестве управляющего персонального компьютера (ПК) метеостанции *Davis Vantage Pro 2*, и представлен пример ее использования для контроля и мониторинга морской среды.

Оборудование

Выбор метеостанции *Davis Vantage Pro 2* обусловлен ее точностью измерений, функциональными возможностями, количеством настроек [21], а также наличием выносных датчиков измерений, обеспечивающих передачу радиосигнала на расстояние до 300 м на открытом пространстве ⁶⁾, что актуально в условиях стационарной океанографической платформы ФГБУН ФИЦ МГИ в пгт Кацивели. С учетом того что на платформе отсутствует постоянно дежурящий персонал, важной является, как упоминалось ранее, задача удаленного доступа для управления и получения данных с метеостанции *Davis Vantage Pro 2*. Данная метеостанция допускает подключение к ПК при помощи как собственного коммерческого программного обеспечения (ПО) *WeatherLink* от разработчика *Davis Instruments* ⁷⁾, так и бесплатного ПО *WeeWX* ⁸⁾.

Преимуществом ПО *WeeWX* является открытость его исходных кодов, (доступность для просмотра, изучения и изменения), что обеспечивает их

⁶⁾ User manual for Vantage Pro2™ and Vantage Pro2 Plus™ Weather Stations. 58 p.

⁷⁾ Davis Weatherlink Software User's Manual. 1999. 78 p.

⁸⁾ User's Guide to WeeWX.

гибкость и адаптируемость под конкретные задачи. Данное ПО работает в различных *GNU/Linux* системах, в частности *Debian*, *Ubuntu*, *Mint*, *Raspbian* и др. Поддержка ОС *Raspbian* позволяет использовать *Raspberry Pi* в качестве управляющих ПК метеостанции *Davis Vantage Pro 2*.

Как упоминалось ранее, платформа *Raspberry Pi* чаще всего используется как самостоятельное решение при построении метеостанций, когда сама плата *Raspberry Pi* используется в качестве центрального процессора, к которому подключены внешние датчики [22]. Данные решения уступают метеостанции *Davis Vantage Pro 2* как в точности измерений, так и в гибкости настроек программного обеспечения.

В качестве управляющего АПК решения на базе *Raspberry Pi* почти не применяются, так как чаще всего для удаленного доступа и управления используются обычные ПК. Однако в условиях ограниченного доступа к платформе в пгт Кацивели, и отсутствия постоянного персонала критичной становится не только производительность ПК, но и его надежность и энергоэффективность, обеспечивающие стабильную автономную работу. По этим параметрам, в особенности в части энергоэффективности, *Raspberry Pi* предпочтительнее обычных ПК, так как их потребляемая мощность обычно не превышает 15 Вт.

Далее приведен пример реализации удаленного доступа и управления метеостанцией *Davis Vantage Pro 2* с использованием АПК *Raspberry Pi*, а также представлены результаты его опытной эксплуатации на платформе в пгт Кацивели.

Результаты и обсуждение

На начальном этапе при организации удаленного доступа в качестве управляющего ПК, обеспечивающего сбор и передачу данных, получаемых метеостанцией *Davis Vantage Pro 2*, использовался *Raspberry Pi B+*.

Выбор данной модели обусловлен ее вычислительными ресурсами, производительность которых обеспечивает стабильную работу ПО *WeeWX* при получении, обработке и передаче данных на удаленный сервер. Тактовая частота процессора 700 МГц и объем оперативной памяти (ОЗУ) 512 МБ данного АПК обеспечивают поддержку любой из версий ОС *Raspbian*, в которой работает ПО *WeeWX*. Подключение к сети Интернет обеспечивается через встроенный *Ethernet* порт. Беспроводное соединение с сетью Интернет может быть выполнено посредством *USB*-модема – в нашем случае *TP-Link TL-WN727N*. Наличие четырех *USB*-портов позволяет подключить, кроме модема, саму метеостанцию *Davis Vantage Pro 2*, а также мышь и клавиатуру (рис. 1).

Как упоминалось ранее, ПО *WeeWX* имеет встроенную поддержку метеостанции *Davis Vantage Pro 2* и позволяет накапливать данные на локальном ПК, в данном случае – *Raspberry Pi B+*.

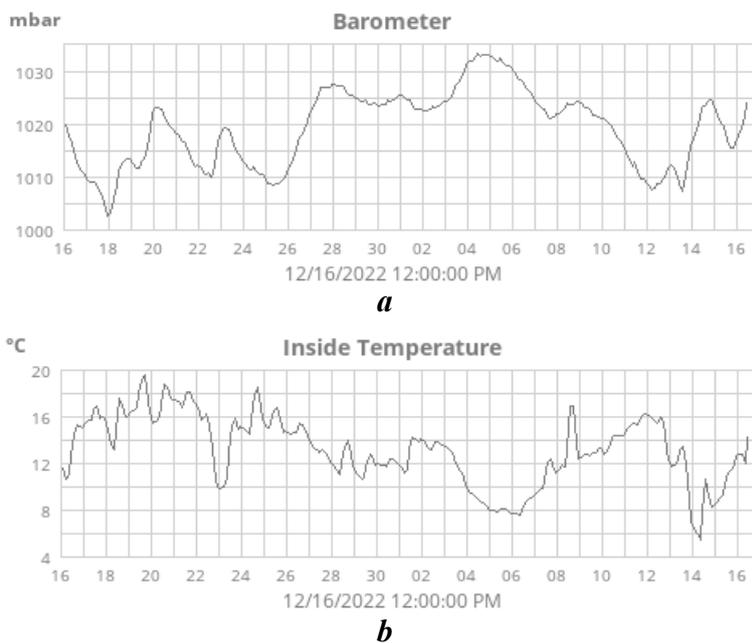
Данные представляются графически, как это показано на рис. 2, а также сохраняются в файле данных *weewx.sdb*. Результаты измерений аналогичным образом могут быть представлены на удаленном сервере. Однако для мониторинга посредством сети Интернет требуются дополнительные настройки.

Одним из ограничений ПО *WeeWX* при работе в ОС *Raspbian* является использование протокола *FTP (File Transfer Protocol)* для передачи данных.



Р и с. 1. Внешний вид рабочего места проведения измерений в автоматическом режиме, а также передачи и хранения данных метеостанции *Davis Vantage Pro 2* с использованием АПК *Raspberry Pi B+*

Fig. 1. The appearance of the workplace for automated measurements, transmission and storage of the weather station *Davis Vantage Pro 2* data using a *Raspberry Pi B+*



Р и с. 2. Образец представления данных о давлении (*a*) и температуре (*b*) на платформе в пгт Кацивели (с 16.11.2022 г. по 16.12.2022 г.)

Fig. 2. Example of view of data on pressure (*a*) and inside temperature (*b*) on the platform in Katsiveli from 16 November 2022 to 16 December 2022

Таким образом, актуальным становится выбор сервера, поддерживающего данный протокол. В качестве такого сервера (хостинга) был выбран *FreeHostingEU* (URL: <https://www.freehostingeu.com>). На данном сервере была зарегистрирована учетная запись с идентификационным номером *ID: 4089596*, для которой был создан домен третьего уровня – *vantagepro2.eu5.net*, обеспечивающий отображение данных.

Настройки *FTP*-сервера производятся в конфигурационном файле ПО *WeeWX* – *weewx.conf* и имеют следующий вид:

```
[[FTP]]
#FTP'ing the results to a webservice is treated as just another report,
# albeit one with an unusual report generator!
skin = Ftp
#If you wish to use FTP, set @enable@ to @true@, then
# fill out the next four lines.
# Use quotes around passwords to guard against parsing errors.
enable = true
user = 4089596
password = *****
server = vantagepro2.eu5.net
path = /vantagepro2.eu5.net/
#Set to True for an FTP over TLS (FTPS) connection. Not all servers
# support this.
secure_ftp = False
# To upload files from something other than what HTML_ROOT is set
# to above, specify a different HTML_ROOT here.
# HTML_ROOT = /var/www/html/weewx
# Most FTP servers use port 21
port = 21
# Set to 1 to use passive mode, zero for active mode
Passive = 1
```

Необходимо отметить, что при организации автоматического резервирования данных с использованием *Raspberry Pi* возникли сложности, которые не были рассмотрены технической поддержкой *FTP*-сервера *FreeHostingEU* и были решены опытным путем – подбором настроек АПК. Путь для сохранения данных с метеостанции *Davis Vantage Pro 2* в конфигурационном файле *weewx.conf* отличается от рекомендуемого по умолчанию на сайте технической поддержки *FreeHostingEU* – */home/www*. В настройках конфигурационного файла *weewx.conf* путь указан как */vantagepro2.eu5.net/*. Если оставить его таким, каким он прописывается по умолчанию, то данные не поступят на *FTP*-сервер и не отображатся на странице www.vantagepro2.eu5.net.

В результате указанных выше настроек были получены данные от встроенных датчиков метеостанции *Davis Vantage Pro 2* (рис. 2). Результаты измерений метеостанции *Davis Vantage Pro 2* в процессе работы непрерывно записываются ПО *WeeWX* в файл данных *weewx.sdb*, который хранится на локальном диске *Raspberry Pi* в папке */var/lib/weewx/weewx.sdb*. Для обработки и анализа результатов измерений, а также их резервирования, целесообразно обеспечить копирование данного файла с *Raspberry Pi* на другой ПК или сетевое хранилище данных. Блок-схема алгоритма подключения и сохранения данных в сетевом хранилище приведена на рис. 3.

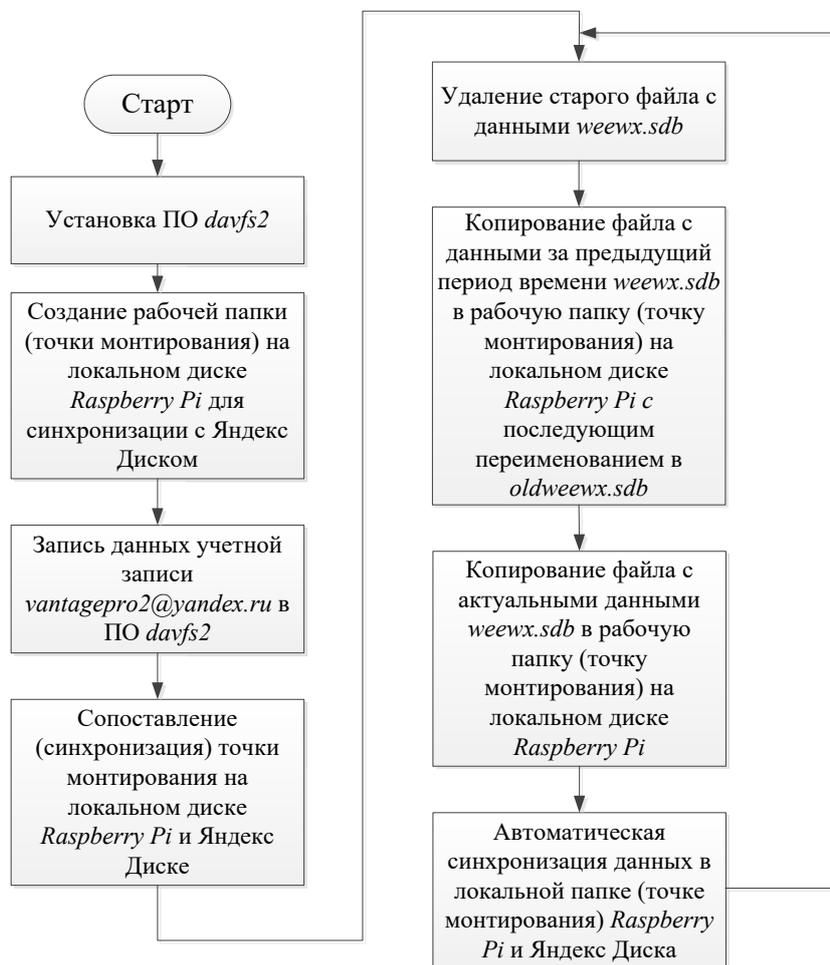


Рис. 3. Блок-схема алгоритма резервирования файла с данными weewx.sdb на Яндекс Диске

Fig. 3. Block diagram of the algorithm for backing up a file with weewx.sdb data on Yandex Disk

С учетом сказанного выше было принято решение копировать файл данных weewx.sdb по расписанию на облачный сервис компании «Яндекс», позволяющий хранить данные на серверах в облаке и передавать их другим пользователям в Интернете – Яндекс Диск. Доступ к данному сервису возможен через WebDAV (Web Distributed Authoring and Versioning) – набор расширений и дополнений к протоколу HTTP (HyperText Transfer Protocol), поддерживающих совместную работу пользователей над редактированием файлов и управление файлами на удаленных веб-серверах. Для этого на Raspberry Pi был установлено ПО davfs2, которое позволяет ОС Raspbian подключаться к хранилищам WebDAV (в нашем случае – Яндекс Диск), как если бы они были локальными дисками. На локальном диске Raspberry Pi была создана папка (точка монтирования) /mnt/yandex.disk/, в которую с заданной периодичностью

копируется файл с данными *weewx.sdb*. Данная папка в дальнейшем синхронизируется с папками сетевого хранилища Яндекс Диска и таким образом осуществляется перенос данных в облако.

Для работы с Яндекс Дискон была создана новая учетная запись – *vantagepro2@yandex.ru*, параметры которой (логин и пароль) указываются в соответствующем файле ПО *davfs2* – */etc/davfs2/secrets*. Необходимо отметить, что Яндекс Диск позволяет установить пароль, отличный от пароля учетной записи (в нашем случае *vantagepro2@yandex.ru*). Работы по настройке *Raspberry Pi* показали, что это целесообразно сделать. В таком случае подключение к сетевому хранилищу (авторизация на нем) происходит стабильнее и отказы в доступе исключены.

Синхронизация содержимого локальной папки *Raspberry Pi* и Яндекс Диска обеспечивается с использованием встроенного конфигурационного файла ОС *Raspbian* – *fstab*. Данный файл содержит информацию о различных файловых системах и устройствах хранения информации, используемой *Raspberry Pi*. В нем же указывается, как будет использоваться созданная точка монтирования */mnt/yandex.disk/*.

Необходимо отметить важный момент, который возник при конфигурировании удаленного рабочего места. Для АПК *Raspberry Pi* при настройке файла *fstab* для папки */mnt/yandex.disk/* важно указать параметр *_netdev*. В этом случае подключение к Яндекс Дisku ОС *Raspbian* производится только после подключения к сети *Wi-Fi* или *Ethernet*. Если данный параметр не указать, то ОС *Raspbian* при загрузке *Raspberry Pi* попытается подключиться к удаленному сетевому хранилищу до подключения к сети Интернет. Попытка будет безуспешной, и повторную попытку подключения необходимо будет проводить уже вручную после установления *Wi-Fi*- или *Ethernet*-соединения.

Указанные выше настройки проводятся один раз и хранятся в настройках *Raspberry Pi*.

Копирование данных – файла *weewx.sdb* – производилось циклически, дважды в сутки с целью исключения потери данных. Для этого использовался встроенный планировщик задач *Cron*, используемый в *Raspbian*⁹⁾. Для автоматического копирования данных был подготовлен исполняемый файл (скрипт) *ya_sdb_update.sh*, содержимое которого приведено ниже:

```
#!/usr/bin/env bash //Служебная строка, обозначающая начало скрипта
sudo rm /mnt/yandex.disk/oldweewx.sdb //Удаление файла с устаревшими данными
sudo mv /mnt/yandex.disk/weewx.sdb /mnt/yandex.disk/oldweewx.sdb //Копирование
с переименованием файла с данными за предыдущий период
sudo cp /var/lib/weewx/weewx.sdb /mnt/yandex.disk/ //Копирование файла с актуальными данными
```

Данный файл реализует алгоритм резервирования данных (рис. 3).

При первоначальной настройке на Яндекс Диске были сохранены два файла с данными:

- *oldweewx.sdb* – за предыдущий период;
- *weewx.sdb* – за текущий период.

⁹⁾ Hentzen W. Cron explained. Hentzenwerke Publishing, Inc., 2004. 12 p.

При запуске исполняемого файла *ya_sdb_update.sh* хранящийся на Яндекс Диске файл *oldweewx.sdb* считается устаревшим, поэтому он удаляется. Файл *weewx.sdb* содержит данные, предшествующие данным измерений, актуальным на момент запуска командного файла, поэтому для возможности их восстановления он переименовывается в *oldweewx.sdb*. Сами же актуальные данные записываются в файл *weewx.sdb*.

Как упоминалось ранее, передача данных проводилась в сети *Wi-Fi* через *USB*-модем *TP-Link TL-WN727N*. Подключение к открытым сетям *Wi-Fi* производится через графический интерфейс выбором сети и вводом пароля. Подключение к скрытым сетям требует дополнительных настроек в конфигурационном файле *Raspbian – wpa_supplicant.conf*. Для каждой вновь подключаемой сети в нем делается следующая запись:

```
Сеть = {ssid = «Название сети»  
scan_ssid = 1  
psk = «Пароль»  
key_mgmt = WPA-PSK //Вид шифрования}
```

При настройке подключения к скрытой *Wi-Fi*-сети на океанографической платформе в пгт Кацивели важным и обязательным параметром является параметр *scan_ssid*, который сообщает системе подключиться к беспроводной сети, даже если она не передает свое имя. Если данный параметр не указан, подключение не происходит и, соответственно, передача данных не производится. Значение *scan_ssid* было установлено равным единице.

Опытная эксплуатация *Raspberry Pi B+* выявила следующий существенный недостаток данного АПК: отсутствие программных и аппаратных средств удаленного управления и настройки АПК.

Конфигурация беспроводной сети в пгт Кацивели не предполагает использование статических *IP*-адресов для подключаемых к ней ПК. Следовательно, использование системы удаленного доступа к рабочему столу *Raspberry Pi*, использующей протокол *RFB (Remote FrameBuffer – удаленный кадровый буфер)*, затруднено. При любом перезапуске АПК (например, в случае аварийного отключения питания) его *IP*-адрес будет изменяться случайным образом. Для восстановления доступа к нему необходимо узнать новый *IP*-адрес, что сопряжено с определенными трудностями и в ряде случаев может быть выполнено только при локальном подключении к АПК непосредственно на самой океанографической платформе.

Решением в данном случае является использование специализированного ПО для удаленного управления и настроек АПК, в частности *AnyDesk*. Достоинством данного ПО является простота его установки и настройки, широкий спектр поддерживаемых ОС, наличие автозагрузки, а также возможность удаленного включения АПК по локальной сети (например, после перезагрузки или отключения напряжения питания) – функция *Wake-on-LAN*. Однако данное ПО имеет ограничение – работает с *Raspberry Pi 2* и более новыми моделями данного АПК. Именно этим был обусловлен отказ от *Raspberry Pi B+* и переход на *Raspberry Pi 2*.

Установка *AnyDesk* на *Raspberry Pi 2B* потребовала дополнительных предварительных настроек. Дело в том, что программный пакет *AnyDesk*

использует графический интерфейс *EGL* [23], который потребовал дополнительной настройки АПК *Raspberry Pi*, а именно: установки дополнительных программных пакетов *Libegl1-mesa* и *libminizip1*, которые изначально по умолчанию отсутствовали. Только после этого пакет *AnyDesk* на *Raspberry Pi 2B* стал работать корректно.

Настройки ПО *WeeWX* и резервирования базы данных для АПК *Raspberry Pi 2B* проводились аналогичным образом, что и для *Raspberry Pi B+*.

В опытной эксплуатации на океанографической платформе в пгт Качивели совместно с метеостанцией *Davis Vantage Pro 2* с августа по декабрь 2022 г. использовался ПК в конфигурации:

- модель – *Raspberry Pi 2B*;
- ПО для удаленного доступа – *AnyDesk*;
- *FTP* сервер для вывода данных – *FreeHostingEU*;
- сервер для хранения файла с данными – Яндекс Диск;
- планировщик задач (выгрузки файла с данными по расписанию) – *Cron*.

В декабре 2022 г. в эксплуатацию был введен собственный *FTP*-сервер Морского гидрофизического института – *Asustor AS5304T*. На нем было организовано дополнительное резервирование имеющихся данных. С учетом того что на нем отсутствует предустановленный *HTTP*-сервер и, соответственно, нет возможности отображать данные в виде, представленном на рис. 2, содержимое папки с данными на *Raspberry Pi B* – */var/www/html/weewx/* – копируется в заданную папку *FTP*-сервера *Asustor AS5304T*. Для автоматизации процесса используется планировщик задач *Cron*. Копирование содержимого папки */var/www/html/weewx/* было организовано при помощи предустановленной в *Raspbian* программы *cURL*, которая последовательно переносит все файлы с *Raspberry Pi 2B* в папку */Home/www/weewx/ FTP-хранилища*. Был подготовлен новый исполняемый файл (скрипт) *asustor_ftp.sh*, содержимое которого приведено ниже:

```
#!/usr/bin/env bash //Служебная строка, обозначающая начало скрипта
cd /var/www/html/weewx/ //Переход в папку с данными
find -type f -exec curl -u username:password -ftp-create-dirs T {} ftp://ip_ftp-server:port/Home/www/weewx/ \; //Копирование папки с данными на FTP-сервер.
```

Для последующей проверки и обработки полученных результатов измерений данная папка копируется на локальный ПК и открывается в интернет-браузере в виде, аналогичном приведенному на рис. 2.

В сентябре 2023 г. была проведена очередная модернизация рабочего места. К метеостанции *Davis Vantage Pro 2* были подключены внешние датчики температуры, влажности, направления и скорости ветра. С целью повышения надежности удаленного доступа беспроводное соединение по сети *Wi-Fi* было заменено проводным соединением к сети *LAN*. Отключение *Wi-Fi*-модема также снизило энергопотребление ПК *Raspberry Pi 2B*. Это позволило использовать внешний блок питания напряжением 5 В и током менее 2 А, что также благоприятно отразилось на стабильности работы. В данной конфигурации рабочее место на основе ПК *Raspberry Pi 2B* функционирует начиная с октября 2023 г. На рис. 4 продемонстрирован пример отображения результатов измерений метеостанции *Davis Vantage Pro 2* в январе – феврале 2024 г.

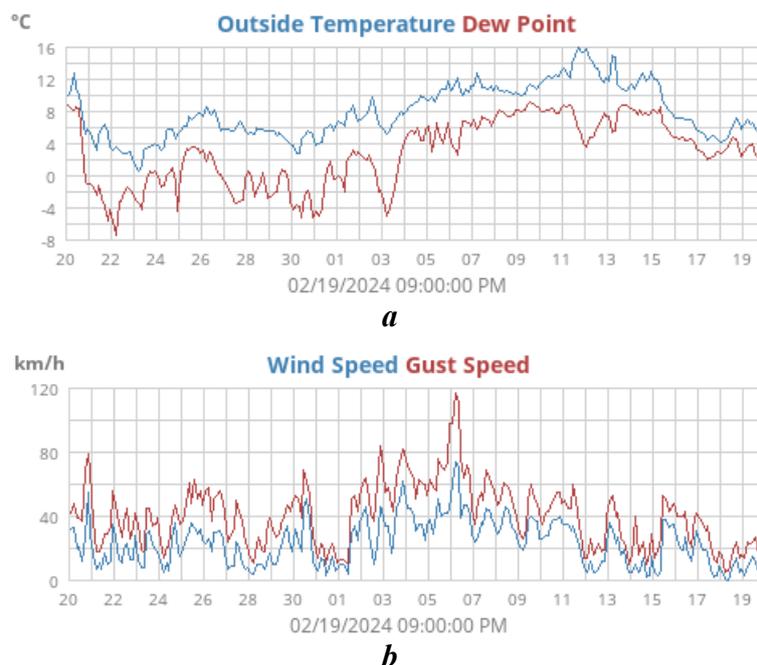


Рис. 4. Пример представления данных о температуре окружающей среды (а) и скорости ветра (b) на платформе в пгт Кацивели (с 20.01.2024 г. по 19.02.2024 г.)

Fig. 4. Data on outside temperature (a) and wind speed (b) on the platform in Katsiveli from 20 January 2024 to 19 February 2024

Графики иллюстрируют стабильность работы удаленного рабочего места на основе ПК *Raspberry Pi 2B*, которое позволяет регистрировать и сохранять данные метеостанции *Davis Vantage Pro 2*.

Заключение

Описан пример реализации удаленного автоматизированного рабочего места для доступа и управления метеостанцией *Davis Vantage Pro 2* с использованием АПК *Raspberry Pi*. Данное рабочее место позволяет непрерывно сохранять данные в автоматическом режиме локально, непосредственно на АПК *Raspberry Pi 2B*, а также осуществлять резервное копирование на внешние *FTP*-серверы и сетевые хранилища данных.

Удаленный доступ для управления и изменения параметров АПК *Raspberry Pi 2B* не требует постоянного присутствия технических специалистов на океанографической платформе в пгт Кацивели.

Результаты эксплуатации АПК *Raspberry Pi 2B* на океанографической платформе в пгт Кацивели показали, что возможность создания автоматически исполняемых файлов (скриптов) внутри ОС *Raspbian* и обеспечение стабильного удаленного доступа к данному АПК повышают надежность записи, хранения и резервирования данных, получаемых метеостанцией *Davis Vantage Pro 2*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наземно-космический мониторинг антропогенных воздействий на прибрежную зону Крымского полуострова / В. Г. Бондур [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 1. EDN FGPURM С. 103–115. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-1-103-115>
2. Комплексный спутниковый мониторинг морей России / О. Ю. Лаврова [и др.]. Москва : ИКИ РАН, 2011. 480 с.
3. Современные средства и методы океанологических исследований / Г. В. Смирнов [и др.] // IX Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований» : материалы конференции. Москва : Изд-во Института океанологии РАН, 2005. Ч. 1. 146 с.
4. Коротковолновая радиолокация в системе мониторинга прибрежных акваторий / В. И. Веремьев [и др.] // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2019. Т. 22, № 2. С. 31–43. EDN MKVBGT <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2019-22-2-31-43>
5. Смолов В. Е., Розвадовский А. Ф. Применение платформы Arduino для регистрации ветровых волн // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 4. С. 467–479. EDN АКПВГ. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-4-467-479>
6. Анализ системных решений портативных метеостанций / Е. Э. Головинов [и др.] // Наноиндустрия. 2018. № 9. С. 144–149. EDN URZHCS. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2018.82.144.149>
7. Kusriyanto M., Putra A. A. Weather station design using IoT platform based on Arduino Mega // International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), Bandung, Indonesia, 2018. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ISESD.2018.8605456>
8. Arduino based automatic wireless weather station with remote graphical application and alerts / H. Saini [et al.] // 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 11–12 February 2016, Noida, India. IEEE, 2016. P. 605–609. <https://doi.org/10.1109/SPIN.2016.7566768>
9. Arduino-based weather monitoring system / J. Singh [et al.] // International Journal of Advanced in Management, Technology and Engineering Sciences. 2018. Vol. 8, iss. 3 P. 1076–1079. URL: <https://www.ijamtes.org/gallery/29.%20mar%20ijamtes%20-%2020317.pdf> (date of access: 28.11.2024).
10. Gao J., Ma H., Liu H. The intelligent weather station system based on Arduino // Proceedings of the 2016 International Conference on Engineering and Advanced Technology. Hong Kong, 22–23 December 2016. ICEAT, 2016. Vol. 82. P. 300–308. <https://doi.org/10.2991/iceat-16.2017.61>
11. Katyal A., Yadav R., Pandey M. Wireless Arduino based weather station // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2016. Vol. 5, iss. 4. P. 274–276. <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2016.5470>
12. Kishorebabu V., Sravanthi R. Real time monitoring of environmental parameters using IOT // Wireless Personal Communications. 2020. Vol. 112, iss. 2. P. 785–808. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07074-y>
13. Rasal M. V., Rana J. G. Raspberry Pi based weather monitoring system // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2016. Vol. 5, iss. 10. URL: <https://ijarce.com/wp-content/uploads/2016/10/IJARCCCE-24.pdf> (date of access: 28.11.2024).
14. Muck P. Y., Homam M. J. IoT Based Weather Station Using Raspberry Pi 3 // International Journal of Engineering and Technology. 2018. Vol. 7, iss. 4.30. P. 145–148. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.30.22085>

15. *Vatsal S., Bhavin M.* Using Raspberry Pi to sense temperature and relative humidity // International Research Journal of Engineering and Technology. 2017. Vol. 4, iss. 2. P. 380–385. URL: <https://www.irjet.net/archives/V4/i2/IRJET-V4I276.pdf> (date of access: 28.11.2024).
16. *Baste P., Dighe D. D.* Low cost weather monitoring station using Raspberry Pi // International Research Journal of Engineering and Technology. 2017. Vol. 4, iss. 5. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2599637>
17. IoT based weather monitoring system using Raspberry Pi / S. R. Vilayatkar [et al.] // International Research Journal of Engineering and Technology. 2019. Vol. 6, iss. 1. P. 1187–1190. URL: <https://www.irjet.net/archives/V6/i1/IRJET-V6I1220.pdf> (data of access: 28.11.2024).
18. *Gheorghe A. C., Chiran M. S.* Raspberry Pi based weather station // The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty. 2018. Vol. 18, iss. 2. P. 63–66. <https://doi.org/10.1515/sbeef-2017-0037>
19. Weather station using Raspberry Pi / V. Mathur [et al.] // 2021 Sixth International Conference on Image Information Processing (ICIIP), India, Shimla, 26–28 November 2021. P. 279–283. <https://doi.org/10.1109/ICIIP53038.2021.9702687>
20. *Savić T., Radonjić M.* One approach to weather station design based on Raspberry Pi platform // 2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), Serbia, Belgrade, 24–26 November 2015. P. 623–626. <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2015.7377544>
21. *Jenkins G.* A comparison between two types of widely used weather stations // Weather. 2014. Vol. 69, iss. 4. P. 105–110. <https://doi.org/10.1002/wea.2158>
22. Raspberry Pi based weather monitoring system / A. Bharadwaj [et al.] // International Journal of Research in Engineering, Science and Management. 2021. Vol. 4, iss. 8. P. 114–117. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23682.45763>
23. *Татарчук И. А., Мамросенко К. А., Гуацинтов А. М.* Обеспечение функционирования графических GLX приложений на промышленном оборудовании с использованием API EGL // Информационные технологии. 2024. Т. 16, № 3. С. 407–418. EDN LWMJDN. <https://doi.org/10.17725/rensit.2024.16.407>

Поступила 17.03.2024 г.; одобрена после рецензирования 7.08.2024 г.; принята к публикации 18.09.2024 г.; опубликована 20.12.2024 г.

Об авторе:

Розвадовский Андрей Федорович, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, rozvadovsky@yandex.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.