

ANALYSIS OF KEY ISSUES IN VERSION 6.2.0 OF THE SIXTH EDITION OF THE IHO S-44 STANDARDS FOR HYDROGRAPHIC SURVEYS

Yu. G. Firsov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The paper examines the principal issues of Version 6.2.0 of the sixth edition of the International Hydrographic Organization (IHO) Standards for Hydrographic Surveys S-44, adopted in October 2024. Although Version 6.2.0 is largely identical to Version 6.1.0, it introduces two new subsections in paragraph 3.8 related to seabed characteristics and their inclusion in the specification matrix. In October 2024, the draft of Version 6.2.0 was circulated to national hydrographic offices for review, and in November 2024 the Department of Navigation and Oceanography of the Ministry of Defense of the Russian Federation submitted its official feedback with recommendations to the IHO. The feedback of the Russian side and the comments provided by the Chairs of the IHO Working Groups and the IHO Secretariat, published in Circular Letter No. 21/2025, are analyzed in detail. The analysis highlights several inconsistencies and contradictions in the Working Groups' comments, as well as the lack of justification for referencing the IHO Manual on Hydrography (C-13), which is outdated and does not reflect the current state of modern digital hydrography. Special attention is given to one of the most significant changes in Version 6.2.0: the clarification of the term Total Horizontal Uncertainty (THU) and the introduction of a new method for its computation based on the standard deviations of sonar antenna coordinates, which requires further substantiation. The newly added glossary terms a priori and a posteriori uncertainty are discussed, and the current approach to obtaining a posteriori uncertainty is critically assessed. It is proposed that the seventh edition of S-44 should reinstate and formalize the statistically based method for assessing posterior accuracy through the analysis of overlaps between main and check survey lines, as previously recommended in the fourth and fifth editions. This methodology should also be reflected in the updated IHO Manual C-13. The need to elaborate an alternative method for real-time water-level corrections using high-precision geodetic heights of tide-gauge benchmarks (RTK-tide), briefly mentioned in recent editions of S-44, is substantiated. Recommendations are provided for presenting this method in the updated C-13, including the use of geoid models to determine height differences between the geoid and chart datum. Additional potential clarifications and improvements to Version 6.2.0 are identified, which may be appropriate to include in the forthcoming seventh edition of the IHO S-44 Standards.

Keywords: IHO Standards for Hydrographic Surveys (S-44), Version 6.2.0, total horizontal uncertainty (THU), standard deviation, a priori and a posteriori uncertainty, accuracy assessment of bathymetric surveys, IHO Manual C-13, RTK-tide, geoid-based water-level corrections.

For citation:

Firsov, Yury G. "Analysis of key issues in version 6.2.0 of the sixth edition of the IHO S-44 standards for hydrographic surveys." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiralа S. O. Makarova* 17.5 (2025): 704–716. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-704-716.

УДК 551.462.33(268)

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВТОРОЙ ВЕРСИИ ШЕСТОЙ РЕДАКЦИИ СТАНДАРТОВ S-44 МЕЖДУНАРОДНОЙ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Ю. Г. Фирсов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрены основные проблемы издания 6.2.0 шестой редакции Стандартов S-44 Международной Гидрографической организации, опубликованные в октябре 2024 г. Указано, что версия 6.2.0 шестой редакции Стандартов S-44 практически полностью соответствует версии 6.1.0 шестой редакции, за исключением добавления двух новых подпунктов в п. 3.8, касающихся природы дна с включением соответствующих параметров в матрицу спецификаций. Отмечается, что в октябре 2024 г. проект второй версии издания 6.2.0 шестой редакции Стандартов S-44 Международной Гидрографической организации был направлен на рассмотрение национальным гидрографическим организациям для получения отзыва. В ноябре 2024 г. Управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации направило в Международную Гидрографическую организацию свой отзыв с рекомендациями. По результатам рассмотрения российских рекомендации и отзывы других пяти государств Международная Гидрографическая организация подготовила Циркулярное письмо № 21/2025 от 24 апреля 2025 г. В приложении к Циркулярному письму представлены отзывы шести государств-членов и комментарии председателей рабочих групп и Секретариата Международной Гидрографической организации. В данной статье обсуждаются отзыв Управления навигации и океанографии и комментарии к нему председателей рабочих групп и Секретариата МГО. При этом отмечена несостоятельность и противоречивость некоторых из этих комментариев и необоснованность ссылок на Учебник по гидрографии Международной гидрографической организации, известный как C-13, изданный в 2005 г. и актуализированный в 2011 г. Отмечается, что ряд материалов этого учебника устарели и не отвечают реалиям современной цифровой гидрографии. Подчеркивается, что одним из главных изменений в версии 6.2.0 шестой редакции Стандартов S-44 можно считать уточнение термина «суммарная горизонтальная неопределенность» и новый метод расчета этого параметра на основе стандартных отклонений координат антенны сонара, который не является оптимальным и требует дальнейшего уточнения. Обоснована необходимость изложения вопросов альтернативного метода определения поправок уровня в реальном масштабе времени на основе высокоточного определения геодезических высот реперов уровенных постов в трех последних редакциях Стандартов S-44 (4-й — 6-й). Даны рекомендации по изложению этого вопроса в актуализированной версии — Учебнике C-13 Международной гидрографической организации с учетом использования моделей геоида для получения разности высот геоида и нуля глубин на уровенном посту. Обсуждаются другие возможные изменения и уточнения текущего издания 6.2.0 шестой редакции, которые в дальнейшем будет целесообразно внести в проект новой (седьмой) редакции Стандартов S-44 Международной Гидрографической организации.

Ключевые слова: S-44(6.2.9) МГО, суммарная горизонтальная неопределенность, расчет горизонтальной неопределенности, оценка точности съемки, апостериорная модель неопределенностей, учебник МГО C-13, поправки уровня относительно геоида.

Для цитирования:

Фирсов Ю. Г. Анализ проблем второй версии шестой редакции Стандартов S-44 Международной гидрографической организации / Ю. Г. Фирсов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 5. — С. 704–716. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-704-716. — EDN JRFRMD.

Введение (Introduction)

Современная цифровая / электронная гидрография требует разработки адекватных норм и правил применения постоянно появляющихся новых технологий. Эта задача исторически была возложена на Международную гидрографическую организацию (МГО), которая с 1968 г. осуществляла подготовку специальных публикаций S-44 Стандартов на гидрографическую съемку. Первые три Стандарта были во многом схожи, поскольку отражали уровень развития существовавших гидрографических технологий второй половины XX в. Однако появление в 1998 г. четвертой редакции Стандартов S-44 внесло существенные изменения в требования, предъявляемые к гидрографической съемке, отражая новые возможности гидрографии, которая стала электронной и цифровой.

В четвертой редакции Стандарта S-44 была предпринята первая попытка обобщить опыт использования новых средств и методов зарождавшейся новой цифровой гидрографии. При этом были представлены новые парадигмы электронной гидрографии, которые получили развитие

в последующих редакции Стандартов: в пятой редакции, вышедшей в 2008 г. и в шестой редакции — издания: 2020 г. (6.0.0), (6.1.0)¹ и 2024 г. (6.2.0)².

Анализу четвертой редакции Стандартов S-44 (1998) посвящены работы [1] и [2], а основные положения пятой редакции Стандартов S-44 (2008), включая рассмотрения вопросов оценки точности планового положения, представлены в работах [3] и [4].

Стандарты на гидрографическую съемку МГО изначально не имели статуса нормативного документа, но задавали минимальные стандарты точности съемок, которые следовало выполнять государствам для подготовки навигационных морских карт (НМК) с целью обеспечения безопасности мореплавания согласно Конвенции СОЛЮС. В текущей шестой редакции изданий 6.2.0 сделана попытка придать Стандартам более «нормативный» характер и распространить их на батиметрические съемки, выполняемые для нужд, отличных от обеспечения только безопасности мореплавания.

Анализ издания 6.0.0 шестой редакции Стандарта S-44 приведен в работе [5], а особенности проекта издания 6.1.0, включая ряд критических замечаний и рекомендаций, содержатся в исследовании [6]. В работе [7] рассмотрены те изменения, которые были включены в издание 6.1.0 для его утверждения в качестве нового издания 6.2.0 шестой редакции S-44 (6.2.0).

Целью статьи является анализ отдельных спорных положений принятой в октябре 2024 г. шестой редакции издания 6.2.0 Стандартов S-44 и ряда рекомендаций, изложенных в документе, представленном Управлением навигации и океанографии (УНиО) в ответ на запрос МГО в виде отзыва с рекомендациями по проекту шестой редакции издания 6.2.0.

Выполненное исследование основано на изучении текстов трех последних редакций Стандартов S-44 и сопутствующих им российских и зарубежных публикаций, а также личного опыта автора по эксплуатации многолучевых эхолотов в составе аппаратно-программных комплексов на основе зарубежных электронных гидрографических информационных систем (ЭГИС) в соответствии с требованиями пятой редакции Стандартов S-44. Предполагается, что анализ положений шестой редакции Стандарта S-44 может быть полезен при подготовке нового отечественного нормативного документа по современной гидрографии.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В 2024 г. в Управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации (УНиО МО РФ) поступило циркулярное письмо из МГО № 35/2024, в котором государствам — членам МГО предлагалось в срок до 29.11.2024 г. проголосовать по вопросу об утверждении очередного исправленного и дополненного издания «Стандартов МГО на гидрографические съемки» S-44 (издание 6.2.0).

Проект S-44 (6.2.0) был предварительно одобрен на 16-м заседании Комитета МГО по гидрографическим услугам и стандартам — HSSC (IHO Hydrographic Services and Standards Committee), состоявшемся в Токио (Япония) в период с 27 по 31 мая 2024 г. Проект этого документа был размещен на сайте МГО в разделе проектов публикаций МГО³.

В сентябре 2020 г. МГО выпустила исходный вариант шестой редакции Стандартов на гидрографические съемки S-44 (издание 6.0.0) и спустя два года, в 2022 г. — уточненный вариант (издание 6.1.0), в который были внесены незначительные уточнения исходного варианта.

В шестой редакции S-44 (2022) появилось много новшеств, которые не только уточнили и конкретизировали отдельные положения предыдущих двух редакций, но и ввели ряд существенных изменений, которые можно охарактеризовать в качестве новых парадигм современной

¹ IHO Standards for Hydrographic Surveys, International Hydrographic Organization, Special Publication No 44, 6th Edition 6.1.0, 2022. — 42 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_Edition_6.1.0.pdf.

² IHO Standards for Hydrographic Surveys, International Hydrographic Organization, Special Publication No 44, 6th Edition 6.2.0, 2024. — 40 p [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_Edition_6.2.0_adopied.pdf.

³ The International Hydrographic Organization. Draft Publications: <https://iho.int/en/draft-publications>.

электронной гидрографии. Введенные в шестой редакции S-44 (2022) новшества были изложены в работе [7].

В Проекте издания 6.2.0 «Стандартов МГО на гидрографические съемки» S-44 были внесены следующие дополнения.

1. Во введении уточнена цель публикации шестой редакции S-44 (2024), и текст первого абзаца представлен в виде:

This publication aims to provide a set of standards for hydrographic surveys and a tool for classification of other bathymetric datasets, primarily used to compile navigational charts essential for the safety of navigation, knowledge and the protection of the marine environment.

В авторском переводе на русский язык этот первый абзац «Введения» может быть представлен в следующем виде:

цель данной публикации — предоставить свод стандартов на гидрографические съемки и инструмент для классификации других батиметрических наборов, в основном используемые для составления морских навигационных карт, необходимых для обеспечения безопасности мореплавания, а также улучшения изученности и защиты морской среды.

Добавлена фраза: «...*a tool for classification of other bathymetric datasets* ...», характеризующая использование нового понятия «матрица спецификаций», впервые введенного в шестой редакции S-44 (2022), что вполне логично и не может вызывать возражений.

2. В словарь шестой редакции S-44 (2022 г.) добавлены определения двух терминов:

A priori uncertainty: Uncertainty based on estimations prior to and throughout the survey, being without examination or analysis.

A posteriori uncertainty: Uncertainty based on collected survey data to verify that the survey results are within the requirements.

Авторский перевод определений этих двух новых терминов может быть представлен в виде:

Априорная неопределенность — неопределенность, основанная на априорных оценках, сделанных до и в ходе съемки без изучения или анализа.

Апостериорная неопределенность — неопределенность на основе собранных данных съемки для проверки соответствия результатов исследования установленным требованиям.

Необходимость включения указанных терминов можно только приветствовать. Следует также отметить, что шестая редакция Стандартов предлагает своеобразную трактовку априорной и апостериорной оценки точности батиметрической съемки. Информация по контролю точности содержится в приложениях B, C, а также в приложении D. Вопрос об апостериорной оценке точности батиметрической съемки, приведенной в приложении B, предполагает использование специального «тестового» полигона — участка дна с детальной цифровой моделью рельефа, которая будет использоваться для сравнения с *батиметрической моделью* — сеткой, полученной в результате выполненной съемки. При этом использование глубин контрольных галсов для последующего их сравнения с поверхностью *батиметрической модели* — сетки (грида), полученной по результатам обработки данных съемки на основных галсах, в тексте шестой редакции (в приложении B) вообще не рассматривается.

3. В п. 2.7 «Уровень доверительной вероятности» во втором абзаце добавлено очень актуальное пояснение, с учетом которого англоязычный текст представлен в следующем виде:

It must be noted that confidence levels (e. g. 95 %) depend on the assumed statistical distribution of the data and are calculated differently for one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) quantities. In the context of this standard, which assumes normal distribution of error, the 95 % confidence level for 1D quantities (e. g. depth) is defined as 1.96 x standard deviation. The 95 % confidence level for 2D quantities (e. g. position) is defined as 2.45 x standard deviation where the largest standard deviation of the x or y axis is used.

В авторском переводе этот абзац может быть представлен в следующем виде:

Необходимо отметить, что уровень доверительной вероятности (например, 95 %) зависит от предполагаемого статистического распределения данных и рассчитываются

по-разному для одномерных (1D) и двумерных (2D) величин. В контексте данного стандарта, в котором предполагается нормальное распределение ошибок, 95%-й уровень доверительной вероятности для одномерных значений (напр., глубина) определяется как 1,96, умноженное на стандартное отклонение, а 95 % уровень доверительной вероятности для двумерных величин (например, местоположение) определяется как 2,45, умноженное на стандартное отклонение, в качестве которого будет использована наибольшая величина стандартного отклонения по осям x или y .

В двух последних редакциях S-44 (2008, 2020, 2022) при оценке планового положения используется термин «стандартное отклонение» (*Standard Deviation*) без конкретного указания формулы для расчета и соответствующей доверительной вероятности. Этот вопрос был впервые рассмотрен в работе [3] и подробно освещен в работах [6], [7], в которых были показаны различные меры точности для расчета планового положения, используемые в зарубежной практике. Отмечалось, что только при использовании меры точности в виде Circular Standard Error — CSE (круговая стандартная ошибка) может быть использована формула

$$THU = 2,45CSE = 2,45 \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2}, \quad (1)$$

где σ_x и σ_y — стандартные отклонения по осям x или y .

Таким образом, для расчета местоположения с 95 %-м уровнем доверительной вероятности для двумерных величин в виде THU предлагается использовать не наибольшую величину стандартного отклонения по осям x или y , а среднее значение стандартных отклонений по осям x или y в соответствии с формулой (1).

4. Наибольшие изменения в проекте редакции 6.2.0 состоят в добавлении двух новых подпунктов в п. 3.8.

В п. 3.8.1 отмечается, что обычно регистрируется сила обратного акустического рассеяния дна, поскольку эти данные могут помочь в определении характера дна без дополнительных затрат на исследования. Сила обратного рассеяния напрямую связана с такими характеристиками дна, как состав осадочных пород (например, плотность, размер зерен, наличие раковин), шероховатость (например, песчаная рябь, гравийное дно, коренные породы), бентос (например, колонии раковин, коралловые рифы, луга морской травы, погребенные организмы) или другие геологические компоненты (например, жидкий ил, мелководные газовые зоны).

В 2015 г. рабочая группа GeoHab по обратному рассеянию BSWG⁴ разработала Руководство по оптимизации сбора и использования акустического обратного рассеяния «Измерения обратного рассеяния гидролокаторами, картирующими морское дно. Руководящие принципы и рекомендации»⁵. Следует обратить внимание на то, что эти рекомендации предназначены для оптимальной регистрации данных обратного рассеяния и могут не способствовать получению оптимальной батиметрии. В зависимости от целей съемки могут потребоваться компромиссы.

Информация, содержащаяся в новом п. 3.8.2, касается определения характеристик дна с помощью оптического обратного рассеяния пассивными датчиками (съемка Земли) или активными датчиками (лидар). Важнейшими характеристиками являются спектральный диапазон длин волн видимого света (от синего до красного), а также плотность точек, или пространственное разрешение. Они позволяют количественно оценить параметры, влияющие на обратное рассеяние, и облегчают определение батиметрии (глубин) или характеристик морского дна. В 2023 г. проектная группа по спутниковой батиметрии разработала Руководство по спутниковой батиметрии B-13⁶, в котором содержатся рекомендации по анализу обратного рассеяния, полученного со спутников. Существует

⁴ Backscatter Working Group. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geohab.org/backscatter-working-group>.

⁵ Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars. Guidelines and Recommendations. DOI: 10.5281/zenodo.10089261.

⁶ International Hydrographic Organization (IHO) Publication, B-13. “Satellite-Derived Bathymetry Best Practice Guide” [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://iho.int/uploads/user/pubs/bathy/B_13_Ed100_032024.pdf.

ограниченное количество стандартов для интерпретации интенсивности лидара. Американское общество фотограмметрии и дистанционного зондирования (ASPRS) предлагает Руководство по формату лидарных данных, а в различных публикациях приводятся методы коррекции интенсивности, на которую влияют инструментальные и экологические вариации. Кроме того, стандарты Национального гидрографического управления содержат рекомендации по оптимальным условиям сбора и форматам данных.

Введение указанных новых подпунктов в п. 3.8 не вызывает возражений и знаменует дальнейшее внедрение спутниковых технологий дистанционного зондирования Земли, лазерных измерений, а также программных продуктов дистанционного зондирования донного грунта в современную цифровую гидрографию.

Обсуждение (Discussion)

В апреле 2025 г. Рабочая группа по гидрографическим съемкам (HSWG) и Секретариат МГО в своем циркулярном письме (ЦП) № 21/2025 от 24.04.25 г. с приложением сообщили об утверждении очередного, исправленного и дополненного издания «Стандартов МГО на гидрографические съемки» S-44 (6.2.0). В приложении к указанному циркулярному письму Member States' Responses to IHO CL 35/2024 and Comments from the Working Groups' Chairs and IHO Secretariat представлены отзывы шести государств-членов на Циркулярное письмо МГО 35/2024, а также комментарии председателей рабочих групп и Секретариата МГО. Копия текста циркулярного письма № 21/2025 от 24.04.25 г. представлена на рис. 1.

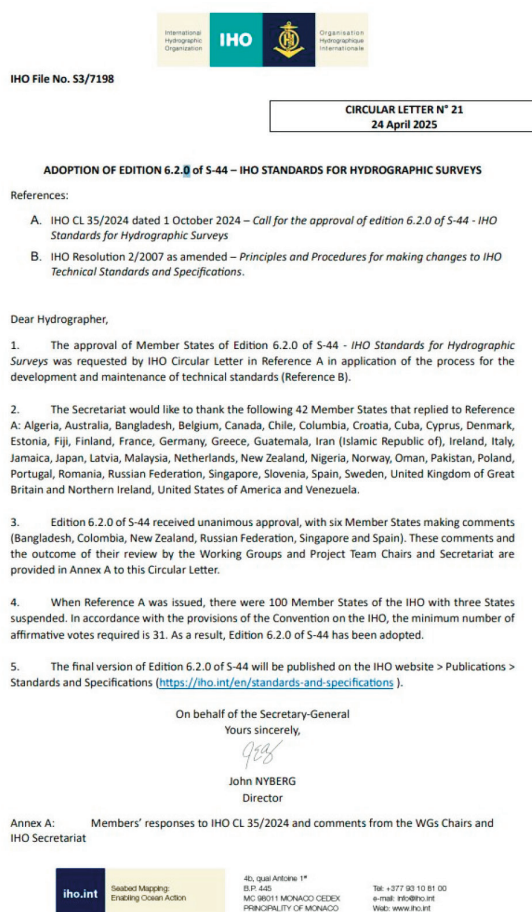


Рис. 1. Копия текста циркулярного письма HSWG и Секретариат МГО № 21/2025 от 24.04.25 г.⁷

⁷ Adoption Of Edition 6.2.0 of S-44 — IHO STANDARDS FOR HYDROGRAPHIC SURVEYS. CIRCULAR LETTER N° 21 24 April 2025. https://iho.int/uploads/user/circular_letters/eng_2025/CL21_2025_EN_v1.pdf.

Приведем фрагмент Приложения к циркулярному письму HSWG № 21/2025 от 24.04.25 г., касающийся рекомендаций Российской Федерации, содержащихся в отзыве УНиО, и ответ HSWG в официальном переводе 280 «Центрального картографического производства» ВМФ.

Российская Федерация проголосовала за введения проекта в качестве текущей версии S-44. При этом были отмечены следующие положения (выделены автором курсивом):

В результате проведенного анализа можно дать следующие комментарии к проекту издания 6.2.0 публикации S-44:

1. Все нововведения проекта издания 6.2.0 публикации S-44 актуальны, не вызывают возражений и могут быть приняты к утверждению в качестве текущей версии S-44.

2. Последнее предложение пункта 2.7 проекта издания 6.2.0 публикации S-44 предлагается изложить следующим образом: «95 % для двумерных величин (например, местоположение) определяется как 2,45, умноженные на стандартное отклонение, где стандартное отклонение местоположения приближенно выражено как средняя величина стандартного отклонения по осям x и y ».

3. В проекте издания 6.2.0 публикации S-44 недостаточно проработаны вопросы, связанные с альтернативным методом определения поправок уровня на основе высокоточного определения геодезических высот опорных точек пунктов наблюдения приливов и нулей карт с использованием точных ГНСС обсерваций в геоцентрической системе координат, известной как RTK-tide.

4. В проекте издания 6.2.0 публикации S-44 для апостериорной оценки качества результатов батиметрической съемки по-прежнему предлагается использовать только испытательный полигон. О необходимости использования контрольных поперечных (промерных) галсов при съемке рельефа не упоминается. Необходимость контроля результатов постобработки съемки рельефа с использованием анализа, основанного на статистическом сравнении глубин основных галсов и поперечных галсов относительно выбранной категории съемки, в шестом издании S-44 вообще не упоминается. На наш взгляд, этот очевидный недостаток шестого издания стандарта S-44 МГО должен быть исправлен при подготовке следующего издания.

Комментарий Рабочей группы по гидрографическим съемкам (Hydrographic Surveys Working Group — HSWG) и Секретариата МГО (выделены автором курсивом):

В ответ на вопросы, поднятые Российской Федерацией, председательствующая группа S-44, предлагает следующие ответы:

1. Принято к сведению с благодарностью.

2. Применяемый в настоящее время коэффициент 2,45 \times стандартное отклонение для расчета суммарной горизонтальной неопределенности (THU) является упрощением, которое используется с 5-го издания 2008 года. В издании 5 публикации S-44 THU была описана как «Было сделано предположение, что неопределенность изотропна» (обозначает свойство быть единообразной независимо от направления), после чего следует: «Это делает нормальное распределение симметричным по окружности, что позволяет описать радиальное распределение погрешностей относительно истинного значения одним числом».

В изд. 6.0.0 и 6.1.0 это было выражено следующим образом: «В настоящем стандарте, для удобства использования, принимается положение, что допустимая горизонтальная неопределенность одинакова в обоих направлениях. Поэтому, предполагая нормальное распределение ошибок, неопределенность местоположения выражается одним числом».

В изд. 6.2.0 мы уточнили, что в упрощенной формуле следует использовать наибольшие из стандартных отклонений [по оси] X или Y .

При оценке неопределенности необходимо исходить из наихудшего случая, и как в издании 5, так и в изданиях 6.0.0/6.1.0, она [неопределенность] описывается как симметричная/равная по окружности в обоих измерениях.

Если формула $DRMS = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$ (доверительная вероятность 63 %), которую можно преобразовать в радиальную неопределенность R_{95} (доверительная вероятность 95 %) путем умножения на 1,73, мы получаем формулу $R_{95} = 1,73\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$.

Если предположить, что максимально допустимая неопределенность для Особой категории THU = 2 м, и рассчитать допустимую среднеквадратическую (RMS) неопределенность по обратной упрощенной формуле:

$$RMS = \frac{\text{Допустимая THU}}{2,45},$$

то получим максимально допустимую RMS неопределенность $\sigma = 0,816$ м.

Чтобы доказать, что формулы дают одинаковый результат, используем $\sigma = 0,816$ м как для x , так и для y в формуле $R_{95} = 1,73\sqrt{\sigma x^2 + \sigma y^2}$, и получим $R_{95} = 2$ м. То, что мы действительно вычисляем с помощью обеих формул, на самом деле является «вектором», который при равных σx и y имеет длину $1,414 \times \sigma$, в нашем случае $1,15$ м.

Этот вопрос обсуждался на нескольких заседаниях рабочей Группы по гидрографическим съемкам (HSWG), и все сошлись во мнении, что текущее определение является правильным, но мы понимаем проблему, поднятую Россией. Поэтому в настоящее время мы не предлагаем никаких изменений, но дальнейшие разъяснения будут представлены в пересмотренном Руководстве по гидрографии С-13.

3. Мы полагаем, что этот вопрос должен рассматриваться в публикации МГО С-13, а не в Стандарте S-44. Мы передали это председателю Проектной Группы Руководства по гидрографии (Manual on Hydrography Project Team — МНРТ).

4. Важность контрольных поперечных (промерных) галсов признается как часть процесса обеспечения качества. Однако такие процедурные элементы больше подходят для С-13. Нынешний коэффициент “2,45 x Стандартное отклонение” для расчета суммарной горизонтальной неопределенности является упрощением, используемым со времени 5-го издания 2008 года. В 5-м издании публикации S-44 THU была описана следующим образом: «Было сделано предположение, что неопределенность изотропна» (обозначает свойство быть единообразной независимо от направления), после чего следует: «Это делает нормальное распределение симметричным по окружности, что позволяет описать радиальное распределение погрешностей относительно истинного значения одним числом».

Председатель HSWG и Секретариат МГО благодарят Российскую Федерацию за отклик и призывают принять участие в обсуждении следующей редакции S-44.

Положительным моментом в разъяснениях рабочей группы HSWG в отношении алгоритма расчета THU можно считать признание наличие проблемы, но описание метода расчета THU во второй версии шестой редакции Стандарта S-44 остается без изменений. Таким образом, в текущей версии шестой редакции Стандарта S-44 (6.2.0) расчет THU (п. 2.7)⁸ теперь выполняется по следующей формуле:

$$THU = 2,45\sigma_{\max}. \quad (2)$$

где σ_{\max} — максимальная из величин σ_x и σ_y .

В комментариях, представленных HSWG⁹, имеются очевидные противоречия. С одной стороны, утверждается, что «...допустимая горизонтальная неопределенность одинакова в обоих направлениях». Таким образом, $\sigma_x = \sigma_y$. Вместе с тем в издании 6.2.0 S-44 HSWG отмечается, что в упрощенной формуле расчета THU следует использовать наибольшие из стандартных отклонений по оси X (σ_x) или Y (σ_y), но это невозможно, поскольку предполагается их равенство.

⁸ IHO Standards for Hydrographic Surveys, International Hydrographic Organization, Special Publication No 44, 6th Edition 6.2.0, 2024. — 40 p [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_Edition_6.2.0_adopted.pdf.

⁹ Adoption Of Edition 6.2.0 of S-44 — IHO STANDARDS FOR HYDROGRAPHIC SURVEYS. CIRCULAR LETTER N° 21 24 April 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://iho.int/uploads/user/circular_letters/eng_2025/CL21_2025_EN_v1.pdf.

Руководитель HSWG в своих комментариях ссылается на Учебник по гидрографии МГО¹⁰, который был первоначально опубликован в 2005 г. как документ М-13 МГО и затем в 2011 г. актуализирован с новым номером С-13 МГО. Этот документ содержит семь глав со списком литературы в каждой главе, а также приложения к отдельным главам. Отметим, что все источники в списках литературы изданы ранее 2005 г.

Рассмотрим отдельные положения Учебника по гидрографии МГО, имеющие отношение к вопросам, касающимся комментариев Руководителя HSWG. Гл. 2 Positioning («Позиционирование») Учебника по гидрографии МГО содержит разд. 6 Positioning Methods (Techniques of Positioning), в котором применительно к GPS представлен п. 6.2.1 Accuracy in position determination. В этом пункте приведена следующая формула для расчета величины DRMS (Root Mean square error in the distance):

$$DRMS = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} = \sqrt{2\sigma^2} = 1,414\sigma.$$

При этом сделано допущение о том, что стандартные отклонения по оси $X(\sigma_x)$ и $Y(\sigma_y)$ равны.

Англоязычный текст, представленный в этом пункте, гласит:

Radial error or root mean square error in the distance (1 σ RMS or 1 DRMS): with the assumption of equality of the standard deviations around two dimensions (σ_x, σ_y), of orthogonality between the axes x and y , of normal and not correlated distributions of error, the following relationship is valid.

Между тем в Учебнике по гидрографии МГО отсутствует термин для обозначения величины σ и ее определение в Словаре МГО¹¹. Указанное допущение никак не обосновывается и с точки зрения современной обширной практики применения аппаратуры ГНСС является неправомерным. Величины σ_x и σ_y всегда различаются, и применение формулы (2.65), приведенной на с. 99 Учебника по гидрографии МГО, для расчета допустимой величины THU не оптимально. Применение указанной формулы из Учебника по гидрографии МГО для расчета «DRMS» которая в S-44 (2008) и S-44 (2020,2022) называется *Standard Deviations* (без ссылки на метод ее расчета), искажает результаты расчетов априорной неопределенности положения глубин на дне THU по методике, представленной в работе [8].

Автоматизация расчетов априорной неопределенности положения глубин на дне реализована в ЭГИС HYPACK (Программа TPE Calculator), а также в программе AMUST¹². На практике величина DRMS для ГНСС обсервации рассчитывается на основе данных, содержащихся в идентификаторе формата сообщения GST строки идентификатора сообщения протокола NMEA. В сообщении GST содержатся параметры среднееквадратического эллипса погрешностей, величины среднееквадратических погрешностей (стандартных отклонений) по осям x, y (σ_x, σ_y) и высоты σ_z .

При выполнении стояночных наблюдений с аппаратурой ГНСС на репере с известными координатами пользователь также получает $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ для обоснования расчетов априорной величины THU. Такие расчеты автоматизированы, например, в программе «C-Monitor Software»¹³, а также в программах калибровки ГНСС аппаратуры, реализованных, например, в ЭГИС QINSy¹⁴.

Далее следует прокомментировать третий пункт комментариев УНИО к проекту издания 6.2.0 публикации S-44, касающегося того, что «... недостаточно проработаны вопросы, связанные с альтернативным методом определения поправок уровня...». В своем ответе Руководитель HSWG считает, что «... этот вопрос должен рассматриваться в публикации МГО С-13, а не в Стандарте S-44». Этот вопрос передан председателю Проектной Группы МНРТ.

Отметим, что в Учебнике по гидрографии МГО С-13 вопросы, связанные с альтернативным методом определения поправок уровня на основе высокоточного определения геодезических высот реперов уровенных постов, рассмотрены в гл. 7 Hydrographic Practice. В разд. 4.2 Vertical Control

¹⁰ Manual on Hydrography. Publication C-13. 1st Edition. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2011. 539 p.

¹¹ Hydrographic Dictionary [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iho-ohi.net/S32/> (дата обращения: 10.07.2025)

¹² Work instruction V3.0.0 for AMUST. Version 3.0.0. Rijkswaterstaat, 2018. 61 p.

¹³ Oceaneering. C-Monitor Software. <https://www.oceaneering.com/products/c-monitor-software>.

¹⁴ Quality Positioning Services. Position Fix Option. <https://qpssoftware.scrollhelp.site/qinsy>.

and Calibration на с. 453 указывается, что реализация метода получения поправок уровня в реальном масштабе времени требует определение разности высот между поверхностями нуля глубин (MLLW) и эллипсоида. Такая методика использовалась в начале XXI в., когда имелась неточная модель глобального геоида EGM-96 [9], а региональные модели геоида только начали создаваться. С введением более точной модели глобального геоида EGM-2008[10] появилась возможность использовать взамен эллипсоида разности высот нулей глубин и поверхностей глобального или региональных геоидов. Такие технологии в настоящее время реализованы в большинстве ЭГИС. Так, в ЭГИС HYPACK имеется возможность использовать 16 региональных геоидов¹⁵, а в ЭГИС QINSy — модель глобального геоида EGM-2008¹⁶.

Использование разности высот между поверхностями нуля глубин и моделью геоида имеет преимущество, поскольку будучи зафиксирована на уровне поста остается неизменной на обширной акватории. Описание технологии определения поправок уровня относительно геоидов следует включить в новое издание Учебника по гидрографии МГО С-13, а также более детально отразить в новой редакции Стандарта S-44.

Достигнутые дециметровые точности получения высот моделей геоида, а также возможность определения геодезических высот реперов уровенных постов на основе фазовой двухчастотной аппаратуры ГНСС с использованием технологий PPP / RTK дают в настоящее время технологические возможности широкого применения альтернативного определения поправок уровня и открывают новую эру трехмерной (3D) гидрографии.

В заключение прокомментируем последний (четвертый) пункт комментариев УНиО к проекту издания 6.2.0 публикации S-44, касающегося необходимости использования контрольных поперечных галсов при съемке рельефа. В ответе Руководителя HSWG, хоть и признается важность контрольных галсов как часть процесса обеспечения качества, но утверждается, что «...такие процедурные элементы больше подходят для С-13».

Отметим, что необходимость выполнения контрольных галсов отмечается в четвертой и пятой редакциях Стандарта S-44 как необходимый элемент апостериорного контроля качества, но были упущены во всех трех в версиях шестой редакция издания Стандарта S-44.

В гл. 7 Hydrographic Practice имеется разд. 6 Data Processing, содержащий п. 6.1 Bathymetry (см. с. 473). Текст, касающийся выполнения контрольных галсов и контроля качества, представленный в этом разделе, гласит:

Careful inspection of the crossline/checkline data should be undertaken, a statistical plot should be produced and any differences $> \sqrt{2} \times$ sounding error budget should be investigated.

Таким образом, Учебник по гидрографии МГО однозначно регламентирует необходимость выполнения контрольных галсов для контроля качества результатов съемки рельефа дна. В пятой редакции Стандартов S-44 содержались полезные приложения «А» («Guidelines for Quality Control») и «В» («Guidelines for Data Processing»), которые планировалось поместить в Учебник М-13 МГО. К сожалению, эти полезные материалы, содержащие указания по контролю качества, в том числе на основе использования контрольных галсов (см. прил. А, п. А.3.1, А.3.2¹⁷), не были включены в актуализированный Учебник по гидрографии МГО и не нашли отражения в издании 6.2.0 шестой редакции S-44.

В настоящее время для обработки данных площадных съемок используются два пакета гидрографических программ, обеспечивающих автоматизацию контроля качества результатов съемки на основе статистических расчетов при сравнении глубин в зонах пересечения батиметрической модели, созданной на основе системы основных галсов с облаком глубин контрольного галса: CARIS HIPS (Teledyne) и Qimera (QPS). На рис. 2 показано окно гистограммы разностей глубин программы

¹⁵ HYPACK Manual. V.16, HYPACK Inc., 2024. 480 pp.

¹⁶ Quality Positioning Services. How-to Height — Tide and RTK. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://qpssoftware.scrollhelp.site/qinsy/how-to-height-tide-and-rtk>.

¹⁷ IHO Standards for Hydrographic Surveys, International Hydrographic Organization, Special Publication No 44, 5th Edition February 2008. 28 p.

Cross Check пакета Qimera, которая обеспечивает автоматизацию при расчете одного из способов контроля качества результатов съемки.



Рис. 2. Окно гистограммы разностей глубин программы «Cross Check» пакета Qimera¹⁸

Результатом работы программы является вычисление THU, допустимой для заданной категории съемки по S-44 для определенного диапазона глубин, а также контроль наличия систематических ошибок. Другим способом контроля качества результатов съемки рельефа дна является построение модели неопределенностей глубин (Uncertainty Surface) по всему району съемки. Этот термин впервые появился в пятой редакции S-44¹⁹, но оказался невостребованным в шестой редакции S-44.

В заключение следует отметить, что второй вариант шестой редакции S-44, несомненно, является развитием новой парадигмы современной цифровой гидрографии, однако требует дальнейшей доработки и совершенствования с учетом актуализированного Учебника по гидрографии МГО.

Изложение альтернативной методологии определения поправок уровня на основе использования технологий PPP / RTK и новых региональных моделей геоидов должно стать приоритетным при подготовке нового Учебника по гидрографии МГО и найти свое отражение в деятельности рабочей группы по подготовке последующих редакций Стандартов S-44 МГО в части рекомендаций по внедрению в практику выполнения съемок концепций трехмерной цифровой гидрографии.

Выводы (Summary)

В результате выполненного анализа издания 6.2.0 шестой редакции S-44 можно сделать следующие выводы.

1. Все нововведения издания 6.2.0 шестой редакции S-44 являются актуальными и могут быть приняты для утверждения. УНиО МО РФ согласован проект издания 6.2.0 шестой редакции S-44 и рекомендовано утвердить его в качестве текущего варианта S-44 с учетом ряда предложений.
2. Рабочая группа шестой редакции S-44 дала свои формальные и противоречивые комментарии относительно предложений УНиО, фактически отказавшись от их рассмотрения.
3. В проекте издания 6.2.0 шестой редакции S-44 п. 2.7 предлагалось для расчета местоположения с 95 %-м уровнем доверительной вероятности для двумерных величин в виде THU использовать не «наибольшую величину стандартного отклонения по осям x или y », а «среднее значение стандартных отклонений по осям x или y в соответствии с формулой (1)». Рабочая группа шестой

¹⁸ Quality Positioning Services. Qimera 2.5 Documentation. [chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmka j/https://publicdownload.qps.nl/Qimera/Qimera-2.5.4-Documentation.pdf](https://publicdownload.qps.nl/Qimera/Qimera-2.5.4-Documentation.pdf)

¹⁹ IHO Standards for Hydrographic Surveys, International Hydrographic Organization, Special Publication No 44, 5th Edition February 2008. 28 p.

редакции S-44 сообщила, что понимает проблему, но пока оставляет рекомендацию по расчету допустимой THU без изменений.

4. В шестой редакции S-44 остаются недостаточно проработанными вопросы, связанные с альтернативным способом определения поправок уровня на основе высокоточного определения геодезической высот реперов уровенных постов и нулей глубин с использованием прецизионных ГНСС-обсерваций в геоцентрической системе координат, известных в специальной зарубежной литературе как RTK-tide.

5. В проекте издания 6.2.0 шестой редакции S-44 для апостериорной оценки качества результатов батиметрической съемки по-прежнему предлагается использовать только тестовый полигон. Необходимость контроля результатов постобработки съемки рельефа с применением анализа на основе статистического сравнения глубин основных и контрольных галсов применительно к заданной категории съемки в шестой редакции S-44 вообще не упоминается. Этот очевидный недостаток шестой редакции Стандартов S-44 МГО, по нашему мнению, необходимо исправить при подготовке проекта очередной седьмой редакции.

6. Учебник по гидрографии МГО С-13 (2011), по мнению рабочей группы, является основой для подготовки новых редакций Стандартов S-44. Однако текст этого учебника, впервые изданного в 2005 г. и частично отредактированного в 2011 г., в настоящее время во многом устарел и требует актуализации.

Кроме того, рекомендуется до начала подготовки проекта седьмой редакции Стандартов S-44 МГО выполнить актуализацию Учебника по гидрографии МГО С-13 в части внесения в гл. 1 основных положений шестой редакции Стандартов S-44 МГО, уточненной оценки точности планового положения для расчета суммарной горизонтальной неопределенности, оценки апостериорной точности результатов батиметрической съемки, а также детального изложения технологии альтернативного метода определения поправок уровня на основе использования технологий PPP / RTK.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wells D. E. IHO S-44 Standards for Hydrographic Surveys and the Variety of Requirements for Bathymetric Data/D. E. Wells, D. Monahan / D. E. Wells // Lighthouse: Journal of the Canadian Hydrographic Association. — 2001. — Is. 60. — Pp. 31–39.
2. Фирсов Ю. Г. К вопросу о нормативных документах для выполнения гидрографических работ / Ю. Г. Фирсов // Навигация и гидрография. — 2006. — № 23. — С. 97–107. — EDN NCTIGB.
3. Фирсов Ю. Г. Пятая редакция Международного стандарта на гидрографические съемки S-44 Международной гидрографической организации / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта. — 2008. — № 1(51). — С. 39–44. — EDN IIWENT.
4. Гарматенко И. С. Международные стандарты оценки точности навигационной информации / И. С. Гарматенко // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2013. — Т. 6. — № 8. — С. 863–866. — EDN RVSEGX.
5. Зубченко Э. С. Новая редакция Стандарта S-44 Международной гидрографической организации / Э. С. Зубченко // Записки по гидрографии. — 2021. — № 312. — С. 38–64.
6. Фирсов Ю. Г. Современная цифровая гидрография и требования новых международных стандартов для батиметрической съемки / Ю. Г. Фирсов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 1. — С. 17–36. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-1-17-36. — EDN NFUHRU.
7. Фирсов Ю. Г. Рекомендации по проекту издания 6.2.0 шестой редакции стандартов-44 Гидрографической съемки Международной Гидрографической организации / Ю. Г. Фирсов // Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»: сборник статей конференции, Санкт-Петербург, 30 сентября — 20 октября 2024 года. — Санкт-Петербург: Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2025. — С. 172–180. — EDN YDVLPI.
8. Hare R. Depth and Position Error Budgets for Multibeam Echosounding / R. Hare // The International Hydrographic Review. — 2015. — Vol. 72. — Is. 2. — Pp. 37–69.

9. Fell P. Comparison of national vertical and chart datums with WGS 84 (EGM96) geoid / P. Fell, M. Tanembaum // OCEANS '02 MTS/IEEE — 2002. — C. 1121–1126. vol. 2. — DOI: 10.1109/OCEANS.2002.1192123.
10. Pavlis N. K. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) / N. K. Pavlis, S. A. Holmes, S. C. Kenyon, J. K. Factor // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. — 2012. — Vol. 117. — Is. B4. DOI: 10.1029/2011JB008916.

REFERENCES

1. Wells, D. E. “IHO S-44 Standards for Hydrographic Surveys and the Variety of Requirements for Bathymetric Data/D. E Wells, D. Monahan.” *Lighthouse: Journal of the Canadian Hydrographic Association* 60 (2001): 31–39.
2. Firsov, Yu. G. “Navigation and hydrography.” *Navigation and Hydrography* 23 (2006): 97–107.
3. Firsov, Yu. G. “5th edition of the international standard for hydrographic mapping S-44 of the international hydrographic organization (based on the materials from foreign sources).” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1(51) (2008): 39–44.
4. Garmatenko, I. S. “International standards of the assessment of accuracy of navigation information.” *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies* 6.8 (2013): 863–866.
5. Zubchenko, E. S. “Novaya redaktsiya Standarta S-44 Mezhdunarodnoy gidrograficheskoy organizatsii.” *Zapiski po gidrografii* .312 (2021): 38–64.
6. Firsov, Yu. G. “Modern digital hydrography and the new international hydrographic organisation bathymetric survey standards.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 16.1 (2024): 17–36. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-1-17-36.
7. Firsov, Yu. G. “The recommendations on update 6.2.0 of the 6th edition of international hydrographic organization hydrographic surveys standards.” *Sbornik nauchnykh statey natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava FGBOU VO “GUMRF imeni admirala S. O. Makarova”: Sbornik statey konferentsii, Sankt-Peterburg, 30 sentyabrya — 20 oktyabrya 2024 goda*. Sankt-Peterburg: Gosudarstvennyy universitet morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova, 2025: 172–180.
8. Hare, R. “Depth and Position Error Budgets for Multibeam Echosounding.” *The International Hydrographic Review* 72.2 (2015): 37–69.
9. Fell, P. and M. Tanembaum. “Comparison of national vertical and chart datums with WGS 84 (EGM96) geoid.” *OCEANS '02 MTS/IEEE — 2002*: 1121–1126 vol.2. DOI: 10.1109/OCEANS.2002.1192123.
10. Pavlis, N. K., S. A. Holmes, S. C. Kenyon and J. K. Factor. “The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008).” *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 117.B4 (2012). DOI: 10.1029/2011JB008916.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Фирсов Юрий Георгиевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: gidrograph@mail.ru, kaf_gm@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Firsov, Yury G. —
PhD in Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: gidrograph@mail.ru, kaf_gm@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 11 сентября 2025 г.
Received: September 11, 2025.