ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.897— 2015/ IEC/TR 62781:2012

Государственная система обеспечения единства измерений

УЛЬТРАЗВУК

Методы подготовки воды для ультразвуковых измерений

(IEC/TR 62781:2012, Ultrasonics — Conditioning of water for ultrasonic measurements, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Всероссийским научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений (ФГУП «ВНИИФТРИ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии международного документа, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 206, ПК 206.14 «Эталоны и поверочные схемы в области измерений акустических, гидроакустических и гидрофизических величин»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 октября 2015 г. № 1636-ст.

4 Настоящий стандарт идентичен международному документу IEC/TR 62781:2012 «Ультразвук. Подготовка воды для ультразвуковых измерений» («Ultrasonics — Conditioning of water for ultrasonic measurements», IDT).

Технический отчет подготовлен Техническим комитетом МЭК 87 «Ультразвук».

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного документа для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Растворенные газы 1
3.1 Общие положения 1
3.2 Химические методы 2
3.2.1 Общие положения 2
3.2.2 Добавление сульфита натрия 2
3.3 Физические методы 3
3.3.1 Общие положения 3
3.3.2 Дегазация вакуумированием 3
3.3.3 Рециркуляция при пониженном давлении 3
3.3.4 Дегазация с помощью контактных фильтров 4
3.3.5 Кипячение 5
3.4 Методы оценки качества дегазации 5
3.4.1 Общие положения 5
3.4.2 Электрические методы 5
3.4.3 Оптические методы 5
3.4.4 Повторное насыщение газом 6
4 Растворенные ионы 7
4.1 Общие положения 7
4.2 Химические методы 7
4.2.1 Общие положения 7
4.2.2 Ионообменники 7
4.3 Физические методы 7
4.3.1 Общие положения 7
4.3.2 Дистилляция 7
4.3.3 Обратный осмос 8
4.4 Методы оценки качества деионизации 8
4.5 Повторная ионизация 8
5 Биологические примеси 8
5.1 Общие положения 8
5.2 Химические методы 9
5.2.1 Общие положения 9
5.2.2 Добавление хлорсодержащих химикатов 9
5.2.3 Добавление химикатов, содержащих медь 9
5.2.4 Добавление химикатов на основе серебра 9
5.3 Физические методы 9
5.3.1 Общие положения 9
5.3.2 Обработка ультрафиолетовым светом 10
5.3.3 Методы кавитации 10
6 Взвешенные примеси 10
6.1 Общие положения 10
6.2 Физические методы 10

6.3 Повторное загрязнение микрочастицами 11
7 Температура воды 11
7.1 Общие положения 11
7.2 Источники тепла в ультразвуковом измерительном баке 11
8 Примеры недорогих систем водоподготовки 12
8.1 Бак для гидрофонных измерений 12
8.2 Сосуд для систем уравновешивания радиационной силы 13
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации 14
Библиография 15

Введение

Многие ультразвуковые измерения проводят в воде, которая является недорогой и легкодоступной средой с удельным акустическим импедансом, близким к импедансу биологической ткани. Однако обычная водопроводная вода не подходит для ультразвуковых измерений, так как содержит много растворенных, абсорбированных и взвешенных примесей. Их присутствие может повлиять на результаты измерений в связи с тем, что:

- растворенные газы легко выделяются из воды под воздействием высокого акустического давления разрежения или нагревания, увеличивающих газообразование. Эти пузырьки не только являются нежелательными точечными отражателями, но и увеличивают вероятность возникновения кавитации;
- растворенные ионы приводят к увеличению проводимости воды, которая в свою очередь может влиять на выходной сигнал неэкранированного гидрофона. Кроме того, если оборудование будет долго находиться в ионизированном растворе, то его поверхность будет постепенно покрываться слоем отложений (например, солями кальция);
- биологическая активность внутри бака с неподготовленной водой способствует возникновению нежелательной пленки на всех поверхностях. Достаточно длительное существование биологической активности приводит к нежелательному ухудшению условий окружающей среды для оператора и может нанести вред его здоровью.

Чтобы минимизировать эти эффекты, необходимо провести специальную подготовку воды.

Эти проблемы хорошо известны и отражены во многих стандартах МЭК, обычно в виде справочных приложений. Цель настоящего стандарта — информирование оператора об унифицированных способах подготовки воды для ультразвуковых измерений. В настоящем стандарте рассмотрены все этапы водоподготовки, даны примеры наиболее подходящих для этого методов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

УЛЬТРАЗВУК

Методы подготовки воды для ультразвуковых измерений

State system for ensuring the uniformity of measurements.
Ultrasonics. Methods of conditioning of water for ultrasonic measurements

Дата введения — 2016—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на методы:

- дегазации воды, используемой при ультразвуковых измерениях в качестве среды распространения;
- снижения содержания ионов в воде, используемой при ультразвуковых измерениях в качестве среды распространения;
- снижения содержания биологических примесей в воде, используемой при ультразвуковых измерениях в качестве среды распространения;
- снижения содержания примесей, взвешенных в воде, используемой при ультразвуковых измерениях в качестве среды распространения.

Настоящий стандарт применим для всех измерений параметров ультразвуковых полей, в которых средой распространения ультразвука является вода. Качество и методы подготовки воды, используемой в системах уравновешивания радиационной силы, могут отличаться от соответствующих требований к воде, используемой при измерениях параметров ультразвуковых полей с помощью гидрофонов. Для этих целей могут также применяться химические методы подготовки воды (например, с использованием альгицидов). Однако в настоящем стандарте рассматриваются только те химические средства, которые подходят для измерений акустического давления и интенсивности ультразвука.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие международные стандарты. В случае датированных ссылок следует применять только указанные стандарты, для недатированных ссылок — последнее издание ссылочного стандарта (включая любые изменения).

IEC 62127-1(2007), Ultrasonics — Hydrophones — Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields up to 40 MHz measurements (Ультразвук. Гидрофоны. Часть 1. Методы измерения и описания медицинских ультразвуковых полей в частотном диапазоне до 40 МГц).

3 Растворенные газы

3.1 Общие положения

Водопроводная вода обычно насыщена растворенными газами. Пузырьки могут быть главной проблемой при измерениях, поскольку они являются почти совершенными отражателями ультразвука и могут исказить измеряемое ультразвуковое поле. К тому же, если пузырек образуется прямо перед

Издание официальное

активным элементом гидрофона, то он будет препятствовать распространению ультразвука от измеряемого источника к гидрофону. И наконец, измеряемые акустические давления, превышающие 100 кПа, тоже могут вызвать кавитацию, т. е. могут создавать пузырьки из растворенного в воде газа, что, несомненно, повлияет на результаты измерений. Захваченные частичками примеси газовые пузырьки также являются источниками кавитации; методы их удаления из воды рассмотрены в разделе 6.

Кавитация связана с ростом, интенсивностью колебаний и разрушением («схлопыванием») предварительно существовавших в среде микропузырьков, заполненных газом или паром. Это будет вызывать ложные акустические сигналы на частотах как ниже, так и выше частоты возбуждения источника — для стабильной или инерционной (кратковременной) кавитации соответственно. Чтобы избежать наступления инерционной кавитации, при которой «схлопывание» пузырьков является деструктивным эффектом, следует предпринять определенные меры. Если такие «схлопывания» происходят на поверхности гидрофона, то это может нанести ему повреждение. Следует отметить, что макроскопические пузырьки видны невооруженным глазом. Однако микроскопические пузырьки могут быть невидимыми и могут создавать много проблем. В этом и заключается необходимость рассмотрения методов получения подходящей для измерений среды, в которой эффекты кавитации были бы минимизированы.

В [1], [2] приведен метод определения начала возникновения кавитации. В частности, возникновение инерционной кавитации обычно сопровождается появлением субгармоник основной частоты или дополнительным широкополосным шумом. Примеры акустических спектров, полученных с помощью зондовых и мембранных гидрофонов представлены в [3], [4].

3.2 Химические методы

3.2.1 Общие положения

Хотя химические методы удаления растворенных газов могут быть очень эффективны с точки зрения как уровня первоначальной дегазации, так и скорости последующего газонасыщения, они имеют и много недостатков. Во-первых, применяемый химический реактив удаляет один определенный газ (например, только кислород). Во-вторых, они повышают содержание ионов в воде, что находится в противоречии к стремлению снизить их содержание (см. раздел 4). В-третьих, многие химические методы дегазации требуют применения сильно раскисляющих компонентов, которые могут нанести вред пользователю и вывести из строя измерительную установку. И наконец, при использовании и хранении химически подготовленной воды необходима осторожность, чтобы не причинить вред окружающей среде.

3.2.2 Добавление сульфита натрия

Сульфит натрия (Na_2SO_3) может быть добавлен в воду для поглощения растворенного в ней кислорода. Содержание растворенного кислорода в воде в состоянии ее насыщения при температуре 20 °С будет составлять около 9 мг/л. Для его связывания необходимо добавить сульфит натрия в количестве 0,5 г/л. В результате сульфит натрия превратится в сульфат натрия (Na_2SO_4).

Для примера берут воду, в которую добавляют Na_2SO_3 для получения 4 %-ного (по весу) раствора. Содержание O_2 в такой воде остается < 4 мг/л на протяжении длительного времени (см. рисунок 1). Скорость насыщения такого раствора воздухом существенно зависит от размеров бака с водой. В емкостях с большими размерами время насыщения дегазированной воды кислородом превышает 150 ч.

Скорость звука в жидкости C_L вычисляют по формуле

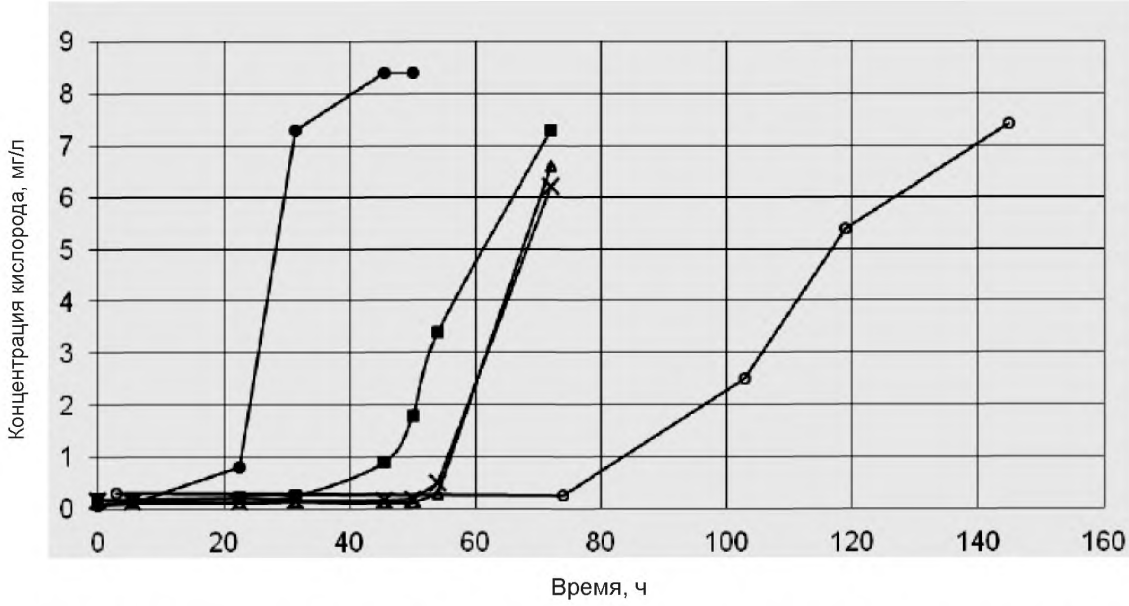
$$C_L = \sqrt{\frac{K}{\rho}}, \quad (1)$$

где K — модуль всестороннего сжатия жидкости;

ρ — плотность.

Изменение плотности раствора после добавления Na_2SO_3 указанной выше концентрации менее 1 %, а изменение модуля всестороннего сжатия еще меньше. Поэтому изменение скорости звука пренебрежимо мало. Удельная электрическая проводимость раствора с концентрацией 4 г/л Na_2SO_3 составляет 5,1 мС/см.

Измерения, результаты которых представлены на рисунке 1, начинались сразу после заполнения емкости при температуре (22 ± 1) °С.



■ — 2 г/л; 34 см^2; 200 мл; × — 4 г/л; 34 см^2; 200 мл; Δ — 6 г/л; 34 см^2; 200 мл; ● — 6 г/л; 83 см^2; 200 мл; ○ — 4 г/л; 120 см^2; 870 мл

Рисунок 1 — Зависимость от времени концентрации растворенного кислорода при содержании сульфита натрия 2, 4 и 6 г/л в деминерализованной воде для емкостей различного объема и площади поверхности воды

Этот раствор взаимодействует, однако, с некоторыми металлами, такими как алюминий и никель. Например, после 2-часового пребывания в растворе преобразователь с алюминиевой фронтальной поверхностью был немного корродирован. Поэтому рекомендуется по возможности сокращать длительность нахождения металлов этого типа в растворе.

3.3 Физические методы

3.3.1 Общие положения

В отличие от химических методов дегазации воды физические методы не повышают содержание ионов в воде и не уменьшают содержание только одного какого-либо определенного газа. Хороший обзор для выбора физического метода дегазации представлен в [5].

3.3.2 Дегазация вакуумированием

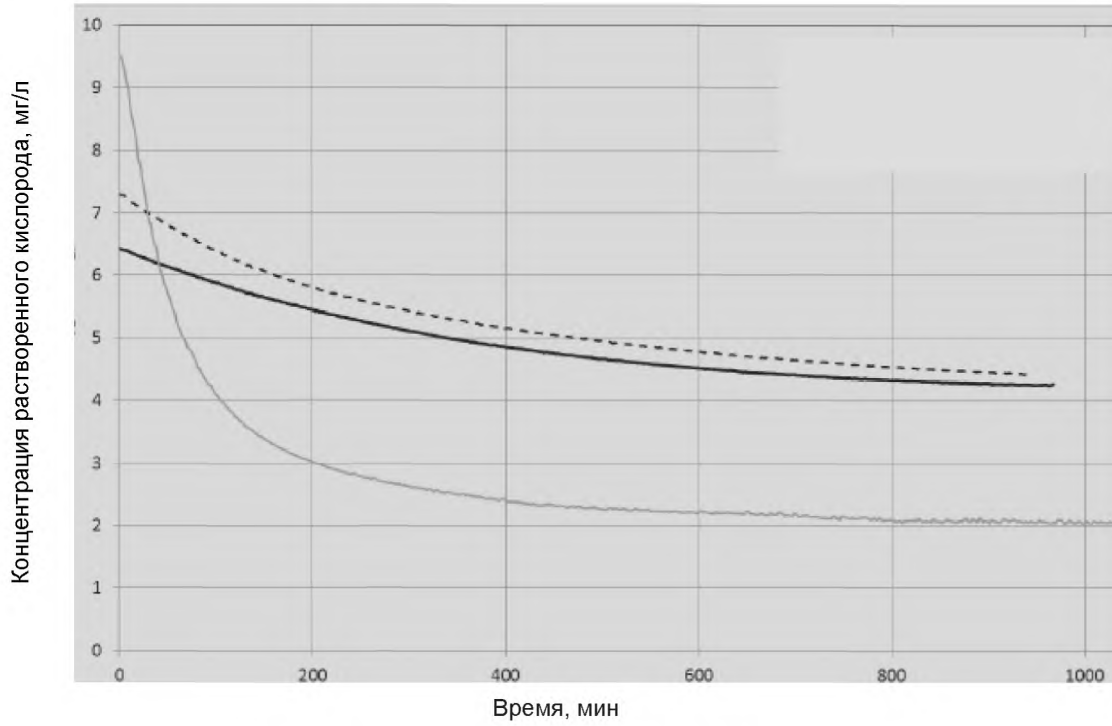
Если сосуд с водой постоянно находится при пониженном давлении воздуха (от 2 до 2,5 кПа), то воздух не сможет возвращаться обратно в воду. В этих условиях вода будет казаться кипящей, так как газовые пузырьки будут быстро расширяться, всплывать и лопаться на водной поверхности. После такой дегазации в течение 24 ч уровень растворенного кислорода может быть ниже 1 мг/л.

3.3.3 Рециркуляция при пониженном давлении

Многие системы водоподготовки используют насос для рециркуляции воды. Выбором насоса большой мощности и использованием небольшого входного отверстия на входе преследуют двоякую цель: перемешивать воду в резервуаре и снижать в ней газосодержание. Система дегазации будет работать при пониженном давлении [5], если к входу мощного насоса подсоединить армированную трубку, а на другой ее конец, помещенный в резервуар с дегазируемой водой, установить ограничитель скорости протекания. Воду из выходного патрубка насоса через простую трубку направляют обратно в резервуар. Комбинированный эффект взаимодействия силы всасывания воды в насосе и ограничения ее поступления в армированную трубку приводит к снижению давления в трубке. При понижении давления в воде снижается содержание растворенного в ней газа и образуются пузырьки. Затем множество мелких пузырей объединяются в несколько крупных. Даже при нормальном атмосферном давлении отношение площади поверхности к объему таких больших пузырьков таково, что это препятствует их обратному поглощению водой. Поэтому вода на выходе из насоса содержит большое количество крупных пузырей.

При возвращении в резервуар эти крупные пузырьки будут собираться на поверхности воды и выходить в воздух. Количество и размер пузырьков в воде, выходящей из насоса, может также являться качественной оценкой газосодержания воды в резервуаре. В качестве резервуара можно использовать как отдельный сосуд, так и измерительный бак.

Полезно помнить, что следует избегать высокого расположения точек ввода-вывода воды из резервуара, так как ее уровень снижается из-за испарения. Если этим пренебречь, то поток воды из входного отверстия будет захватывать воздух и наполнять воду пузырьками. Поэтому как входное, так и выходное отверстия должны быть расположены как можно ниже по высоте резервуара. Эффективность этого метода зависит от перепада давления на входе насоса. При удачной конструкции системы можно понизить уровень содержания кислорода в воде до 2—3 мг/л, как это показано на рисунке 2. На этом рисунке видно, что вода в резервуаре большей вместимости дегазируется гораздо медленнее, чем в резервуаре меньшей вместимости.



— резервуар *A*: 23,5 °С; — резервуар *A*: 18 °С; — резервуар *B*: 17 °С.

Резервуар *A*: вместимость 850 л, площадь поверхности 9000 см^2;

Резервуар *B*: вместимость 200 л, площадь поверхности 4000 см^2

Рисунок 2 — Концентрация растворенного в воде кислорода как функция времени дегазации при рециркуляции при пониженном давлении

3.3.4 Дегазация с помощью контактных фильтров

Другой метод, использующий насос для рециркуляции воды и широко распространенный в баках для акустических измерений, основан на применении коммерчески доступных контактных фильтров для дегазации при протекании через них воды. Эти фильтры в виде трубок применяют в промышленности как для дегазации, так и для газирования жидкостей.

Трубка состоит из пачки полых гидрофобных волокон (несколько тысяч), через которую протекает жидкость. Мембрана из этих волокон проницаема для молекул газа типа CO_2 или меньших по размеру, так что O_2 и N_2 тоже через нее проходят.

Под действием парциального давления вода проходит через мембрану, снижая при этом концентрацию газа до приемлемого уровня. Однако при применении небольшого разрежения, воздействую-

щего на оболочку трубки и создаваемого небольшим насосом или расходомером типа Вентури, можно добиться уровня содержания растворенного кислорода около 1—3 мг/л при однократном пропускании воды через фильтр при скорости протекания от 500 до 3000 мл/мин.

Техническое обслуживание таких устройств не вызывает затруднений, если своевременно менять фильтры (0,45 мкм или подобных) для предотвращения закупорки отверстий мембраны со временем. Водяные пары, проходящие через мембрану, можно собрать в ловушку, установленную перед откачивающим насосом.

3.3.5 Кипячение

Еще один приемлемый для дегазации метод — это кипячение воды в течение определенного периода времени. В таблице 1 приведены результаты, которые можно получить, используя три различные процедуры.

Концентрация кислорода дана после кипячения и охлаждения в резервуаре до температуры ниже 23 °С. Время охлаждения зависит от внешних условий и скорости перемешивания воды в резервуаре.

Таблица 1 — Условия дегазации воды кипячением

Время кипячения, мин	5	10	20
Начальная концентрация O_2, мг/л (до кипячения)	7,2	7,8	8,0
Конечная концентрация O_2, мг/л, при 23 °С	1,7	2,0	3,1
Время охлаждения от 100 °С до 23 °С, мин	24	35	28
Примечание	Без перемешивания	Без перемешивания	Очень слабое перемешивание

Из таблицы 1 можно сделать следующие выводы:

- кипячение на протяжении 5 мин достаточно дегазирует воду;
- перемешивание (даже очень слабое) в период охлаждения сильно повышает содержание кислорода в воде;
- время охлаждения несущественно влияет на содержание кислорода до тех пор, пока оно менее 35 мин.

3.4 Методы оценки качества дегазации

3.4.1 Общие положения

Точное определение газосодержания было бы связано с многочисленными измерениями концентрации каждого отдельного газа, который может растворяться в воде. В настоящем стандарте такие измерения не представлены.

Альтернативный подход заключается в представлении газовой концентрации в виде только одного газа и предположении, что все растворенные газы снижают свою концентрацию в одинаковой степени. Ясно, что это предположение неверно, когда определяют концентрацию только одного газа. Однако коммерчески доступны многие типы измерителей содержания растворенного кислорода, основанные на электрических или оптических методах измерения.

3.4.2 Электрические методы

Электрические методы измерения концентрации растворенного кислорода основаны на диффузии через проницаемую мембрану. За мембраной находятся два электрода, погруженные в раствор электролита, а проникающий через мембрану кислород снижает потенциал катода. Однако недостатки этого метода связаны с потреблением кислорода, что ведет к понижению его концентрации как измеряемой величины. Если вода, находящаяся вблизи электрода, не циркулирует (например, если раствор не взбалтывают), то этот метод приводит к ошибочным результатам из-за истощения содержания кислорода в объеме, граничащем с измерительной головкой.

3.4.3 Оптические методы

Оптические методы измерения концентрации растворенного кислорода основаны на определении яркости свечения датчика измерительной головки. Присутствие кислорода будет уменьшать люминесценцию, но важно то, что кислород в этом процессе не поглощается. Поэтому оптические методы измерения концентрации растворенного кислорода не требуют перемешивания (хотя это может и быть благоприятным для обеспечения равномерности распределения кислорода по всему измеряемому

объему). В связи с тем, что перемешивание не обязательно, оптическими методами можно реализовать непрерывные измерения газосодержания в течение требуемого времени непосредственно в среде распространения. К тому же многие измерители имеют функцию регистрации результатов, так что содержание растворенного кислорода совместно с другими данными (например, дата/время, температура и пр.) могут быть сохранены или переданы по сети для последующего анализа.

3.4.4 Повторное насыщение газом

Вода, находящаяся в открытом резервуаре или в резервуаре, закрытом проницаемой пленкой, будет естественным образом поглощать растворимые в ней газы, пока не достигнет уровня насыщения. Скорость этого насыщения будет зависеть от многих факторов, важнейшими из которых являются температура, режим перемешивания и отношение площади водной поверхности к объему воды. Пример динамики такого поглощения показан на рисунке 3. (Резервуар вместимостью 200 л с площадью водной поверхности 4000 $см^2$; температура воды 17—22 °С).

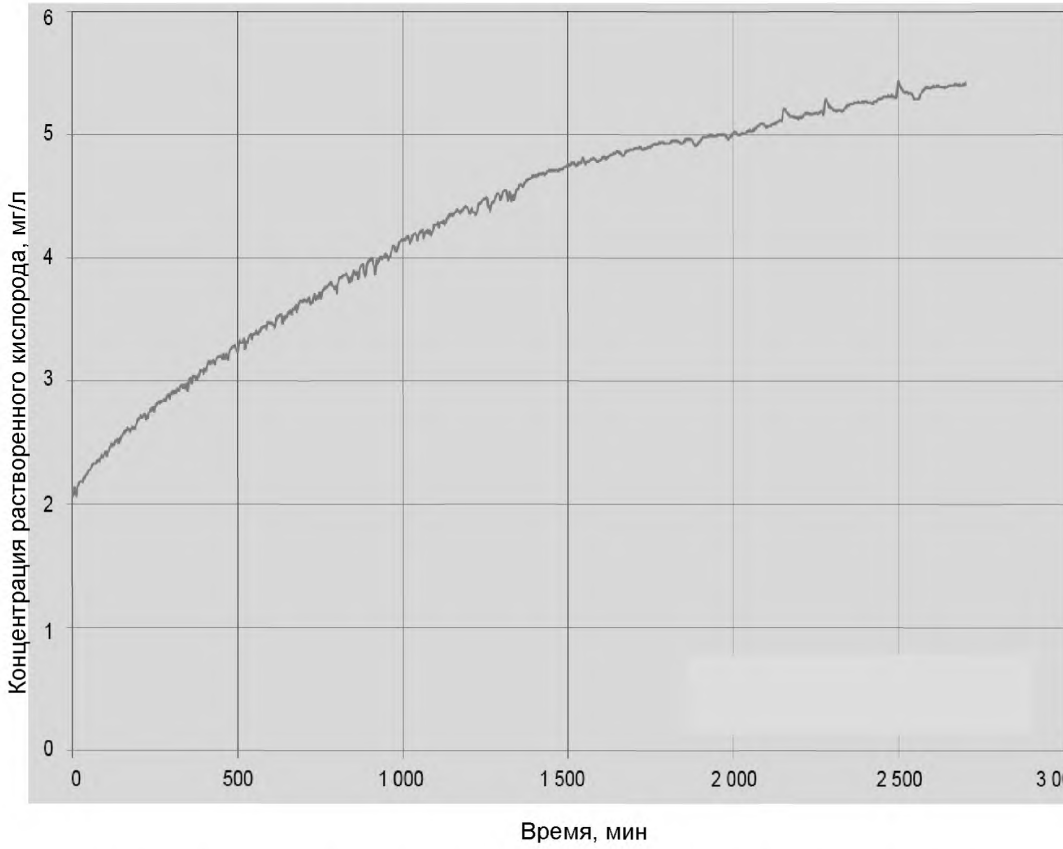


Рисунок 3 — Динамика поглощения газа водой после ее дегазации методом рециркуляции при пониженном давлении

Для уменьшения площади водной поверхности, через которую происходит поглощение водой газа, были предложены различные решения. Пленка из полимера низкой плотности или пористая (например, наполненная пузырьками воздуха упаковочная пленка) не позволяет ей опускаться на дно резервуара. Однако такую пленку перед измерениями следует извлекать из резервуара. Кроме того, со временем пузырьки с воздухом могут заполниться водой, и пленка будет тонуть. Лучшей альтернативой является способ, при котором плавающее на поверхности покрытие можно не извлекать из резервуара даже с автоматизированной системой перемещения гидрофона. С этой целью лучшим решением будет использование слоя полипропиленовых (или подобных им) шариков, плавающих на поверхности: они уменьшают площадь водной поверхности, контактирующую с воздухом, легко смещаются в сторону при

перемещении в резервуаре каких-либо объектов, а их сферические поверхности минимизируют отражения от зеркальной поверхности воды.

4 Растворенные ионы

4.1 Общие положения

Водопроводная вода часто может содержать значительное количество растворенных ионов. Это проявляется наиболее всего в увеличении проводимости воды, которая может проявиться в «низком сопротивлении» между электродами некоторых мембранных гидрофонов. Повышенная проводимость может стать источником электромагнитных наводок, увеличивающих шум на выходе гидрофона. Существует также вероятность того, что эти растворенные вещества будут осаждаться на каких-либо объектах, длительно находящихся в воде. В частности, в этом заключается проблема использования «жесткой воды» с ее известковыми отложениями на всем оставленном в резервуаре с водой. Если таким объектом станет гидрофон, то его чувствительность, по мере роста загрязненности на нем, будет постепенно уменьшаться.

В МЭК 62127-1, конкретизирующем методы использования гидрофонов, в том числе электрически неэкранированных мембранных гидрофонов, даны рекомендации о том, чтобы проводимость не превышала 5 мкС/см.

4.2 Химические методы

4.2.1 Общие положения

Химические методы деионизации воды основаны на добавлении в воду ионов водорода или гидратов окиси. Они применимы для целей настоящего стандарта. В настоящем стандарте приводится сопоставление с другими химическими методами подготовки воды.

4.2.2 Ионообменники

Эти устройства содержат ионообменные смолы, представляющие собой смесь анионных и катионных реагентов, которые заменяют все растворенные в воде ионные компоненты соответствующими ионами водорода или гидратов окиси, что обеспечивает чистоту воды. Стоимость такого оборудования относительно низка, но обменная смола является расходным материалом, который необходимо восполнять.

Для всех ионообменных устройств повышенные уровни содержания ионов в поступающей в эти устройства воде будут приводить к сокращению времени работы ионообменной смолы. Как только смола начинает терять свои свойства, электропроводность пропущенной через устройство воды будет увеличиваться. Поэтому рекомендуется устанавливать на выходе ионообменника средства для мониторинга качества обработанной воды. Ионообменную смолу рекомендуется реактивировать или заменить при достижении предельного уровня электропроводности. Этот процесс не всегда приемлем в связи с его высокой стоимостью (из-за необходимости замены смолы), когда требуется обработка больших объемов воды.

4.3 Физические методы

4.3.1 Общие положения

Как и все физические методы, рассматриваемые в настоящем стандарте, физические методы снижения содержания ионов в воде не добавляют в обрабатываемую воду каких-либо загрязнений.

4.3.2 Дистилляция

При кипячении воды и последующей конденсации ее паров некоторые растворенные в ней твердые вещества остаются на внутренних поверхностях дистиллятора, а вытекающая из него вода имеет низкую концентрацию ионов. В итоге эти ионы будут осаждаться в виде накипи, что потребует регулярной очистки дистиллятора от этих отложений. Хотя стоимость дистиллятора и не высока, процесс дистилляции не столь эффективен по сравнению с деионизацией, поэтому часто требуется дистиллировать воду дважды и даже трижды, чтобы она была сравнима по чистоте с водой, прошедшей ионнообменную деионизацию. Но этот процесс более часто применяют при подготовке больших объемов воды, когда приемлем и невысокий уровень деионизации.

Во многих странах дистилляторы относятся к оборудованию, требующему лицензирования (из-за контроля за производством алкогольной продукции), что следует учитывать при установке такого оборудования и работе на нем.

4.3.3 Обратный осмос

В методе обратного осмоса используют полупроницаемую мембрану, через которую проходит очищаемая жидкость, не пропускающую через себя ионы и загрязнения. При этом с помощью повышенного давления принуждают жидкость проходить через мембрану из более концентрированного в менее концентрированный раствор, т. е. в обратном для осмоса направлении. Системы обратного осмоса обычно достаточно дороги, но относительно дешевы в эксплуатации. Этот процесс наиболее всего подходит для ситуаций, когда требуются большие объемы хорошо деионизированной воды, что может оправдать высокую первоначальную стоимость оборудования.

Побочным эффектом поддержания соответствующего осмотического давления является выработка большого количества загрязненной воды. А так как эта вода уже не может быть использована в повторном процессе очистки, то возникает необходимость ее хранения. С этим связаны финансовые и экологические проблемы эксплуатации систем обратного осмоса.

4.4 Методы оценки качества деионизации

Количество растворенных ионов можно без труда определить с помощью кондуктометра. Кондуктометры бывают двух типов: для измерений на пробах воды и кондуктометры, встроенные в систему ее очистки. Кондуктометры на пробах имеют ряд электродов, погружаемых в воду. Электрический ток проходит через одну пару электродов, в то время как потенциал измеряют на другой паре электродов. Затем по значениям тока и измеренного потенциала вычисляют электропроводность.

Во встроенных приборах используют метод индуктивной связи, в котором в качестве вторичной обмотки трансформатора служит заполненный водой канал. Подав на первичную обмотку известный электрический сигнал и измерив сигнал, возникающий на вторичной обмотке, можно рассчитать электропроводность воды.

Электропроводность воды сильно зависит от температуры, поэтому в состав кондуктометра обычно входит и термометр. Как и в оптических методах измерения степени дегазации, большинство кондуктометров имеют встроенные системы регистрации результатов.

4.5 Повторная ионизация

Некоторые объекты, расположенные внутри измерительного бака, являются потенциальными источниками содержания ионов. Однако известно много методов защиты аппаратуры от вредного воздействия воды, основанных на снижении степени повторной ионизации воды. Такие процедуры включают в себя:

- применение компонентов из нержавеющей стали вместо черных металлов;
- анодирование деталей из алюминия;
- применение пластмасс, не содержащих компонентов, выщелачиваемых водой.

5 Биологические примеси

5.1 Общие положения

Защита воды от увеличения присутствия в ней биологических примесей является важной проблемой, хотя она не рассмотрена до сих пор в международных стандартах, касающихся ультразвуковых измерений. Большинство из очевидных побочных эффектов биологической активности в измерительном баке с водой связано с тем, что в воде появляются мутные желтые или зеленые пятна, имеющие запах. На поверхности некоторых объектов образуется и долго сохраняется слизистая пленка. Эти отложения будут ухудшать характеристики гидрофона точно так же, как и солевые отложения (см. раздел 6). Однако наиболее важно то, что бактериальные отложения могут нанести вред здоровью оператора, работающего с измерительным баком.

Одним из главных источников биологического загрязнения воды является ее контакт с человеком, в частности тогда, когда он устанавливает в воду или вынимает оттуда различное оборудование (например, преобразователи, гидрофоны, рассеивающие мишени). В некоторых лабораториях при этих операциях операторы используют чистые водонепроницаемые перчатки, что существенно уменьшает возможность биологического загрязнения. Иногда используют салфетки для протирки объектов спиртом перед их погружением в воду. Все эти методы эффективны для целей предотвращения биологического загрязнения воды; однако понятно, что эти меры не являются универсальными и подходящими для всех практических случаев.

Удаление растворенных газов и веществ (см. разделы 3 и 4) будет способствовать снижению биологической активности загрязнений в связи с уменьшением источников их жизнедеятельности. Однако эти методы не будут убивать некоторых уже существующих бактерий, поэтому ниже рассмотрены методы их удаления. Другим важным аспектом этой проблемы является местоположение измерительного бака относительно источников тепла и света. Находящийся в теплом месте измерительный бак будет более подвержен биологическому загрязнению, чем бак, находящийся в более холодных климатических условиях. К тому же, биологическая активность под влиянием фотосинтеза возрастает при избытке света. Поэтому измерительный бак, установленный в тщательно выбранном месте (вдали от окна, обращенного к солнцу), будет подвергаться гораздо меньшей биологической активности, чем тот, который установлен неправильно. В перерывах между измерениями бак может быть накрыт темной тканью, чтобы уменьшить биологическое загрязнение воды.

Важно отметить, что, как и для методов дегазации (см. раздел 3), химические методы ограничения биологической активности часто находятся в противоречии со стремлением получить деионизированную воду. Поэтому, если требуется иметь воду с низкой электропроводностью, лучше использовать физические методы ограничения биоактивности (например, ультрафиолетовое облучение) вместо химических.

5.2 Химические методы

5.2.1 Общие положения

Несмотря на то, что химические методы обеззараживания воды могут быть очень эффективными, но при их применении повышается содержание ионов в воде, это находится в полном противоречии с усилиями по деионизации воды (см. раздел 4).

5.2.2 Добавление хлорсодержащих химикатов

Для снижения биологического загрязнения воды в плавательных бассейнах обычно применяют хлорсодержащие химикаты. Иногда эти химикаты используют как антибактериальные средства в баках с водой, хотя повышенная концентрация растворов хлора может стать причиной обесцвечивания тканей. К тому же длительное нахождение кожи в хлорном растворе может привести к повышению чувствительности и раздражению кожи рук оператора.

5.2.3 Добавление химикатов, содержащих медь

Широко применима и антибактериальная обработка, основанная на добавлении соединений с медью. Они часто используются в морском судостроении как вещества против обрастания, а также в виде растворов, добавляемых в воду плавательных бассейнов. Некоторые из этих соединений составлены из комбинаций, подверженных разложению через какой-то промежуток времени. Для успешного применения этого метода необходимо, чтобы концентрация каждого из антибактериальных веществ непрерывно менялась во времени с тем, чтобы бактерии не смогли приспособиться к существованию в какой-либо определенной химической среде.

Следует, однако, заметить, что растворенная в воде медь может реагировать с другими металлами, а некоторые металлы (в частности, алюминий) вступают в нежелательную химическую реакцию с некоторыми растворами на основе меди. Множество ультразвуковых гидрофонов имеют тонкие золотые электроды, и длительное нахождение этих гидрофонов в растворах на основе меди может привести к разрушению электродов и вызвать повреждение гидрофона.

5.2.4 Добавление химикатов на основе серебра

Антибактериальные свойства серебра, используемого в лечебных целях, хорошо известны с конца 18-го века; оно может также сдерживать рост грибковых образований. Серебро нерастворимо в чистой воде, хотя некоторые его соединения (например, нитрат серебра и фториды серебра) легко растворяются в воде. В соответствии с этим для снижения биологической загрязненности воды использование серебряного порошка предпочтительнее чем соединений серебра, так как чистое серебро не будет увеличивать электропроводность воды и не будет вымываться ионообменником. Однако понятно, что серебряный порошок может удаляться из воды при ее фильтрации.

5.3 Физические методы

5.3.1 Общие положения

Как и все другие физические методы подготовки воды, рассмотренные в настоящем стандарте, физические методы удаления примесей биологического происхождения не вносят каких-либо загрязнений в обрабатываемую воду.

5.3.2 Обработка ультрафиолетовая светом

Коммерчески доступные ультрафиолетовые фильтры содержат источник ультрафиолетового света, погруженный в обрабатываемую воду. Воздействие ультрафиолетового облучения убивает все микроорганизмы в резервуаре с водой. Применимы несколько типов ультрафиолетовых фильтров. Большинство из них используют коротковолновое излучение для выработки озона, который оказывает антимикробное действие. При выборе ультрафиолетового источника нужной длины волны (250—270 нм) можно добиться более эффективного уничтожения биологической среды. Однако следует предпринять меры, чтобы скорость протекания воды через ультрафиолетовый фильтр не превышала рекомендованную фирмой-изготовителем. Если такое превышение будет иметь место, то вода не получит требуемой дозы ультрафиолетового облучения и в результате ее обработка будет неэффективной. В этом смысле рекомендуется принять меры, чтобы встроенный ультрафиолетовый фильтр был расположен вблизи места с самой высокой скоростью течения. С другой стороны, следует также обеспечить, чтобы ультрафиолетовый фильтр не был слишком мощным для протекающей жидкости, так как это может вызвать нежелательное повышение температуры воды. Следует иметь в виду, что многие коммерчески доступные системы имеют встроенные сосуды для обработки в них воды, сделанные из стекла. Эти стеклянные ячейки не могут выдерживать пониженное давление, и поэтому не могут быть использованы в системах дегазации при пониженном давлении.

5.3.3 Методы кавитации

Крупномасштабные сооружения для очистки воды от биологических загрязнений основаны на применении ультразвуковых полей высокой интенсивности в сочетании с методами аэрации. Аэрация обеспечивает насыщение воды газовыми пузырьками, являющимися затем источниками возникновения кавитации. Высокая эффективность этого метода очистки от биологических загрязнений обычно реализуется в промышленном масштабе. Однако для подготовки воды в небольших измерительных лабораториях этот метод не применяют до сих пор.

6 Взвешенные примеси

6.1 Общие положения

Взвешенные в воде частицы будут рассеивать ультразвук. Для оценки того, когда размеры рассеивателя становятся настолько малыми, что их взаимодействием с падающим ультразвуковым пучком можно пренебречь, были исследованы различные модели. В зависимости от формы рассеивателя его размеры в диапазоне от $\lambda/10$ до $\lambda/20$ обычно принимают как предельные, ниже которых рассеяние считается незначительным. Здесь λ — это длина акустической волны в жидкости. Очевидно, что для очень высоких ультразвуковых частот особое внимание должно быть уделено источникам рассеяния, и для их удаления следует выбирать фильтры соответствующих размеров. Важно отметить, что это требование не может быть отнесено только к устройствам с высокой частотой акустического воздействия. Учитывая эффекты акустического нелинейного распространения, вполне вероятно, что сигналы ультразвуковых сканеров, работающих на второй гармонике, будут иметь существенную энергетическую составляющую на третьей и более высоких гармониках. В сигналах многих коммерческих систем с частотой акустического воздействия не менее 15 МГц обычно имеются гармонические составляющие в диапазоне от 30 до 40 МГц. Поэтому может стать необходимым обратить внимание на рассеиватели размером менее 2 мкм.

Взвешенные частицы могут быть также и источниками питания бактерий и грибков. Кроме того, они представляют дополнительные поверхности для возможного биологического загрязнения. Поэтому удаление взвешенных частиц препятствует обоим этим процессам биологического загрязнения.

6.2 Физические методы

Взвешенные частицы лучше всего удаляются с помощью фильтра для очистки от микрочастиц (или сажевого фильтра). Рекомендуется использовать двухступенчатый фильтр с грубой (размеры ячеек от 5 до 10 мкм) и последующей тонкой (меньше 1 мкм) фильтрацией, устанавливаемый вблизи входного патрубка системы. Следует отметить, что фильтры тонкой очистки будут ограничивать скорость протекания жидкости и могут влиять на характеристики насоса. Фильтры с очень мелкими ячейками (< 0,45 мкм) обычно применяют при фекальном анализе на кишечные бактерии, они не пропускают бактерии этого размера. Поэтому такие тонкие фильтры можно также использовать и при очистки воды от бактериального загрязнения. Однако если эти бактерии не были убиты ультрафиолетовым облучением

или соответствующими химикатами (см. раздел 5) до фильтрации, то они могут накапливаться в фильтре и там размножаться. В конце концов это может привести к повторному загрязнению воды. Поэтому, если применяют фильтры для очистки от микрочастиц, то их следует располагать после фильтров ультрафиолетового облучения.

Все фильтры для очистки от микрочастиц будут со временем забиваться, что, в конечном итоге, приведет к тому, что они или не будут пропускать воду или получат внутренние повреждения и будут сбрасывать обратно в воду скопившиеся в них загрязнения. Поэтому рекомендуется регулярно (не реже, чем 1 раз в три месяца) проводить визуальный осмотр фильтров и заменять их при необходимости.

6.3 Повторное загрязнение микрочастицами

Повторное загрязнение воды микрочастицами происходит тремя основными путями: из воздуха, из-за непрерывной коррозии арматуры и из-за каких-нибудь объектов, на время погружаемых воду (включая руки оператора). Поэтому необходимо организовать проведение контрольных процедур за состоянием воды. Если водная поверхность защищена пленкой, снижающей скорость повторного насыщения воды газом (см. 3.5), то это может также снижать и загрязнение воды микрочастицами из воздуха. Но и в этом случае важно принять меры, чтобы загрязнения из воздуха не скапливались на защитной пленке. Поэтому такое защитное покрытие необходимо время от времени заменять (если это полимерная пленка) или мыть (если это полипропиленовые шарики или им подобное).

7 Температура воды

7.1 Общие положения

Температура воды может существенно влиять на результаты ультразвуковых измерений как напрямую, так и косвенно. Прямым эффектом является зависимость скорости звука в воде от ее температуры, а значения скорости звука нужны при расчете акустической интенсивности. Более слабо выражено влияние градиента температуры (особенно вдоль пути распространения ультразвука), которое может вызвать рефракцию, а значит, изменение направления оси пучка и/или его фокусировки.

К побочным эффектам можно отнести и влияние температуры на чувствительность гидрофонов некоторых типов. Сходный эффект проявляется и в температурной зависимости излучательной способности преобразователя. Кроме того, от температуры воды зависят и многие другие ее свойства, рассмотренные в настоящем стандарте (например, степень дегазации см. 3.3.3, степень биологической активности см. 5.1).

Поэтому рекомендуется, чтобы оператор всегда имел в виду влияние изменений температуры воды. Эти изменения можно отслеживать обычным измерением температуры непосредственно в измерительном баке, внося требуемые поправки в полученные результаты акустических измерений. Однако, если к точности измерений предъявляются повышенные требования, может оказаться необходимым использование термостата. При этом следует обеспечить однородность теплового поля по всему объему воды в измерительном баке. Это потребует необходимость ее перемешивания, а значит, и учета влияния турбулентности на результаты акустических измерений. Еще одним аспектом влияния температуры является то, что для многих устройств измерения мощности ультразвука используют резервуары малого объема (около 50 мл), в которых изменение температуры воды происходит быстро даже для слабых источников нагрева (например, датчиков ультразвуковых сканеров), и это существенно влияет на результаты измерений.

7.2 Источники тепла в ультразвуковом измерительном баке

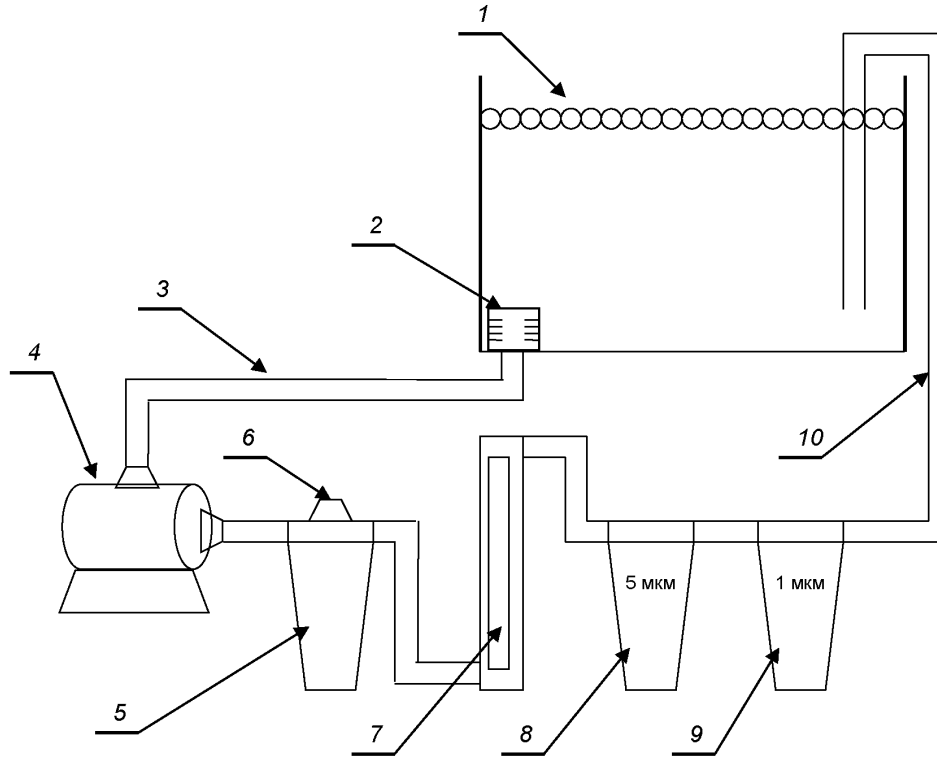
Наиболее важное влияние на температуру воды в измерительном баке оказывает температура воздуха в помещении. Использование кондиционеров в основном устраняет ее изменчивость и снимает эту заботу с оператора, но при этом следует ограничивать вариации температуры соответствующими настройками кондиционера. Если же помещение не оборудовано кондиционером, то дневные изменения температуры воздуха в нем могут быть значительны. Могут быть и другие локальные источники повышения температуры воды, влияющие на результаты измерений. Это подсоединенные к измерительному баку устройства для подготовки воды. Например, насосы и фильтры для ультрафиолетового облучения могут повысить температуру воды (особенно в баках малого объема) на несколько градусов.

При использовании резервуара малого объема для измерений мощности ультразвука источником повышения температуры воды может быть измеряемый ультразвуковой преобразователь. Особое внимание следует уделить измерениям излучений высокой мощности, где используют акустические поглотители. Они поглощают основную часть энергии, излучаемую преобразователем, и образуемое в них тепло переходит в воду. При измерениях преобразователей с акустической мощностью, иногда превышающей 100 Вт, в ограниченном объеме воды возможно значительное (более чем на 40 °С по отношению к температуре окружающей среды) повышение температуры воды.

8 Примеры недорогих систем водоподготовки

8.1 Бак для гидрофонных измерений

Электропроводность воды в баке для измерений гидрофонами является важным фактором, что определяет необходимость использования устройства для очистки воды от растворенных в ней твердых веществ. Система очистки воды, показанная на рисунке 4, включает ионообменник на основе ионообменной смолы с кондуктометром для мониторинга свойств смолы. Дегазация воды проводится посредством мощного насоса с ограничителем скорости протекания. В систему рециркуляции воды встроены ультрафиолетовый фильтр и двухступенчатый фильтр для очистки от микрочастиц. Все применяемые методы фильтрации воды являются скорее физическими, нежели химическими, что обеспечивает существенное снижение электропроводности воды после ее прохождения через ионообменник.

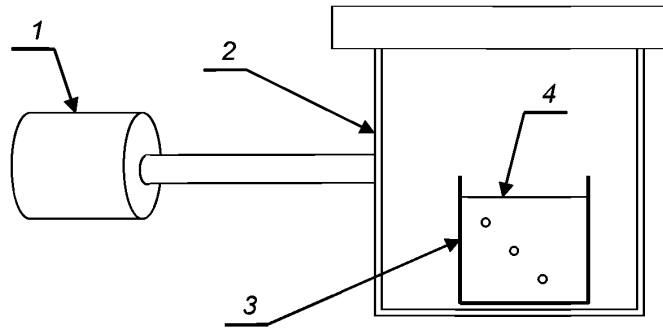


1 — полипропиленовые шарики для ограничения поглощения кислорода из воздуха; *2* — ограничитель скорости потока; *3* — напорная входная трубка; *4* — насос; *5* — ионообменник; *6* — кондуктометр; *7* — фильтр ультрафиолетового облучения; *8* — фильтр грубой очистки; *9* — фильтр тонкой очистки; *10* — гибкая выходная трубка

Рисунок 4 — Пример системы подготовки воды для гидрофонных измерений

8.2 Сосуд для систем уравновешивания радиационной силы

В системе уравновешивания радиационной силы (для измерения мощности ультразвука) обычно используют сосуды малого объема (менее 2 л), но измерения выходной мощности терапевтических ультразвуковых систем высокой интенсивности (HITU) связаны с большим риском возникновения кавитации. Поэтому для таких измерений воду необходимо тщательно дегазировать. Для этой цели измерительный сосуд с водой можно поместить в небольшую вакуумную камеру, как это показано на рисунке 5. Электропроводность воды влияет на результаты измерения радиационной силы в гораздо меньшей степени, чем при гидрофонных измерениях. Поэтому при подготовке воды для измерителей радиационной силы нет необходимости подвергать ее деионизации. Более того, поскольку электропроводность воды здесь не важна, для подавления ее биологической активности можно применять химические методы (например, добавлять хлор), а не устанавливать дорогую систему ультрафиолетовой фильтрации.



1 — вакуумный насос; *2* — вакуумная камера; *3* — сосуд для измерения радиационной силы; *4* — хлорированная вода

Рисунок 5 — Пример системы подготовки воды для измерений радиационной силы

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 62127-1: 2007	IDT	ГОСТ Р МЭК 62127-1—2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Параметры полей ультразвуковых. Общие требования к методам описания полей в частотном диапазоне от 0,5 до 40 МГц»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1] HEKKENBERG, RT., BEISSNER, K., ZEQIRI, B., BEZEMER, RA. and HODNETT, M. Validated ultrasonic power measurements up to 20 W. *Ultrasound Med. Biol.,* 2001, vol. 27, no.3, p. 427—438

[2] HEKKENBERG, RT., BEISSNER, K. and ZEQIRI, B. *Therapy-level ultrasonic power measurement*. Final Technical Report, EC project SMT4-CT96-2139, European Commission report EUR 19510, 2000. ISBN 92-828-9027-9

[3] HARRIS, GR. Hydrophone measurements in diagnostic ultrasound fields, *IEEE Trans. UFFC* 1988, vol. 35, no. 2, pp.87—100

[4] BACON, DR. Finite amplitude distortion of the pulsed fields used in diagnostic ultrasound. *Ultrasound Med. Biol.*, 1984, vol. 10, no. 2, p. 189—195

[5] FOWLKES J.B. and CARSON P.L. Systems for degassing water used in ultrasonic measurements, *J. Acoust. Soc. Am* 1991, 90(2) pp. 1197—1200

[6] AIUM, *Acoustic output measurement and labeling standard for diagnostic ultrasound equipment*, 1992

[7] IEEE Std. 790—1989, *IEEE Guide for medical ultrasound field parameter measurements*, 1990

[8] HEKKENBERG, RT., BEISSNER, K. and ZEQIRI, *B. Guidance on the propagation medium and degassing for ultrasonic power measurements in the range of physiotherapy level ultrasonic power,* European Commission, BCR Information, Report EUR 19511, 2000. ISBN 92-828-9838-5

[9] IEC 61161, *Ultrasonics — Power measurement — Radiation force balances and performance requirements*

УДК 616-073.43-71:006.354 ОКС 17.140.50

Ключевые слова: биологические примеси, гидрофон, дегазация, деионизация, кавитация, мощность ультразвука, ультразвук

Редактор *Л.Б. Чернышова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Подписано в печать 08.02.2016. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Тираж 37 экз. Зак. 160

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,
123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru