ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71994— 2025

СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ МЕДИАНА-ФИЛЬТР» (АО «НПК МЕДИАНА-ФИЛЬТР») (разработчики В.Б. Смирнов, С.И. Якименко, Д.Д. Ганин, Д.А. Сафонова, А.А. Смирнов)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 184 «Обеспечение промышленной чистоты»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 марта 2025 г. № 192-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «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

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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 Термины, определения и сокращения 2
4 Классификация воды для производства электронной техники 4
5 Технологии производства ультрачистой воды 14
6 Принципы проектирования системы водоподготовки УЧВ 18
7 Монтаж системы УЧВ 27
8 Ввод в эксплуатацию и аттестация системы УЧВ 29
9 Эксплуатация и техническое обслуживание 32
Приложение А (рекомендуемое) Расчет содержания частиц в воде при их нормальном распределении 36
Приложение Б (обязательное) Тестирование ионообменных смол на эмиссию остаточной органики, металлов и частиц в ультрачистую воду 38
Приложение В (обязательное) Примеры схем получения подпиточной (сверхчистой) воды 45
Приложение Г (обязательное) Примеры схем получения и распределения УЧВ 46
Приложение Д (обязательное) Повторное использование воды 47
Приложение Е (рекомендуемое) Эксплуатационные характеристики расходных материалов 50
Приложение Ж (обязательное) Параметры исходной воды 52
Приложение И (обязательное) Резервирование оборудования системы водоподготовки 53
Приложение К (рекомендуемое) Требования к составу полимерных материалов, соприкасающихся с УЧВ 58
Библиография 60

Введение

Производство электронной техники в России включает изготовление интегральных схем, различных полупроводниковых приборов, продукцию оптоэлектроники и др. Все эти производства требуют систем водоподготовки, выполненных из специальных материалов и позволяющих получать ультрачистую воду. При этом удельное потребление ультрачистой воды на единицу продукции очень велико. Например, для изготовления одной 8-дюймовой (200 мм) кремниевой пластины для производства около 100 чипов может потребоваться до 7500 л воды, причем около двух третей воды должно быть ультрачистого качества.

В настоящем стандарте приведена классификация ультрачистой воды для современного массового производства изделий микроэлектроники, а также представлены схемы ее получения и распределения. Стандарт является отправной точкой для проектных организаций, монтажа, эксплуатации и экспертизы таких объектов строительства или реконструкции. Настоящий стандарт является первым отечественным стандартом, который регламентирует методы аналитического контроля, выбор материалов, организацию производства ультрачистой воды для промышленного и опытного производства изделий микроэлектроники.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Systems of ultrapure water treatment for electronics industry

Дата введения — 2025—11—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на системы получения и распределения ультрачистой (деионизованной) воды для производства изделий электронной техники.

Настоящий стандарт содержит требования к ультрачистой воде. Классификация воды по качеству введена в зависимости от топологии технологического процесса производства микросхем.

В настоящем стандарте установлены требования к системам получения и распределения ультрачистой воды. Требования стандарта распространяются на проектирование, монтаж, ввод в эксплуатацию, испытания, эксплуатацию и техническое обслуживание систем подготовки ультрачистой воды.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 31958—2012 Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода

ГОСТ 34786 Вода питьевая. Методы определения общего числа микроорганизмов, колиформных бактерий, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa и энтерококков

ГОСТ Р 58810 Оборудование для подготовки воды внутри зданий. Механические фильтры. Часть 2. Очистка от частиц с размерами от 1 до 80 мкм. Требования к рабочим характеристикам, безопасности и методам испытаний

ГОСТ Р 71172—2023 Системы подготовки воды фармацевтического применения. Требования к получению, хранению и распределению воды очищенной и воды для инъекций

ГОСТ ISO/IEC 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, или по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины, определения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

Примечание — Настоящий раздел устанавливает термины и определения, связанные с системами ультрачистой воды, и не содержит общие термины технологии водоподготовки и электронной промышленности.

3.1 Термины и определения

3.1.1 **система подготовки ультрачистой воды** (ultrapure water treatment plant); система УЧВ; установка УЧВ: Комплекс оборудования водоподготовки, позволяющий из исходной воды получать ультрачистую воду для нужд микроэлектроники.

3.1.2 **предварительная очистка** (primary treatment): Стадия получения частично обессоленной воды из исходной воды, включающая в себя предподготовку и первичное обессоливание.

3.1.3 **предварительная подготовка** (pretripment); предподготовка: Все стадии подготовки воды перед первой ступенью обратного осмоса.

3.1.4 **первичное обессоливание** (first stage reverse osmosis): Первая ступень обратного осмоса, на выходе из которой должна получаться частично обессоленная вода.

3.1.5 **дегазация** (degasification): Процесс удаления из воды растворенных газов.

3.1.6 **декарбонизация** (decarbonization): Процесс удаления из воды углекислого газа.

3.1.7

установка электродеионизации (electrodeionization unit): Разновидность глубокой очистки воды, которая происходит с помощью селективных мембран, между которыми размещают слой ионообменной смолы.

Примечание — Регенерация ионообменного материала происходит под действием приложенной разности электрических потенциалов.

[ГОСТ Р 71172—2023, пункт 3.1.25]

3.1.8 **фильтр смешанного действия** (mixed filter): Фильтр, пропускающий воду с большой скоростью, в котором в качестве загрузки используется ионообменный материал.

Примечание — Ионообменный материал сорбирует из потока воды катионы и анионы, обменивая их на ионы водорода и гидроксильные группы. Одновременно с этим фильтр задерживает в слое загрузки частицы из потока воды.

3.1.9 **технологическое оборудование** (process equipment): оборудование, потребляющее УЧВ и не являющееся оборудованием системы водоподготовки.

3.1.10 **частично обессоленная вода** (partly dimineralized water): Обессоленная вода, полученная в результате первичного обессоливания на установке обратного осмоса.

Примечание — Имеет типичное значение электропроводности 5—30 мкСм/см (0,2—0,33 МОм·см) при температуре 25 °С.

3.1.11 **деионизованная вода** (deionized water): Вода с удельным электрическим сопротивлением не менее 1 МОм·см при температуре 25 °С.

3.1.12 **сверхчистая вода**; подпиточная вода (high purity water): Вода с удельным электрическим сопротивлением не менее 18,1 МОм·см при температуре 25 °С и уровнем общего органического углерода менее 50 мкг/л.

3.1.13 **ультрачистая вода** (ultrapure water): Вода с удельным электрическим сопротивлением не менее 18,18 МОм·см при температуре 25 °С, с уровнем общего органического углерода менее 1 мкг/л (менее 1 ppb) и с дополнительными требованиями по содержанию частиц.

3.1.14 **упреждающий контроль** (proactive approach): Обеспечение качества воды не за счет контроля параметров (например, если их предельно допустимые значения меньше чувствительности имеющихся приборов), а за счет анализа причин отклонений от требований к качеству продукции и/или контроля отдельных факторов.

3.1.15 **предшественники частиц**; прекурсоры частиц (particle precursors): Растворенные соединения, которые при высыхании могут образовывать частицы на пластине.

3.1.16 **частица критического размера** (killer particle): Частица размером 1/2 от минимального топологического размера.

3.1.17 **метод СЭМ** (SEM method): Метод подсчета частиц на поверхности субмикронного фильтра (рейтингом 50 нм), через который пропущено не менее 1000 л ультрачистой воды и затем при помощи сканирующего электронного микроскопа подсчитаны задержанные поверхностью фильтра частицы.

3.1.18 **удельное электрическое сопротивление** (specific electrical resistivity): Электрическое сопротивление кубического объема среды с ребром в 1 см при прохождении по нему электрического тока.

Примечание — Единицей сопротивления в международной системе СИ является Ом·м, на практике удельное электрическое сопротивление обычно выражается в МОм·см.

3.1.19 **удельная электропроводность** (conductivity): Величина, обратная удельному электрическому сопротивлению.

Примечание — Единицей электропроводности в международной системе СИ является См/м (сименс/метр). На практике электропроводность раствора обычно выражается в мкСм/см.

3.1.20 **коллоидный индекс** (Silt Density Index, SDI): Расчетный показатель, характеризующий степень загрязнения воды механическими и коллоидными примесями и ее пригодность для подачи на установку обратного осмоса.

Примечания

1 Позволяет спрогнозировать устойчивость работы установки.

2 Методика измерения коллоидного индекса приведена в ГОСТ Р 71172—2023 (приложение Г).

3.1.21 **антискалант** (antiscalant): Группа нетоксичных органических соединений, допущенных для применения в водоподготовке с целью предотвращения выпадения осадка на рабочих поверхностях теплообменного и мембранного оборудования, а также трубопроводов.

3.1.22 **селективность** (rejection): Способность обратноосмотической установки задерживать вещества, содержащиеся в воде.

Примечание — Выражается в процентах. Представляет собой разность концентраций определенного вещества в исходной воде и фильтрате, отнесенную к его (вещества) концентрации в исходной воде.

3.1.23

застойная зона (dead leg); тупик: Участок трубы, не являющийся частью циркуляционного контура (в котором жидкость может оставаться неподвижной) и длина которого превышает три внутренних диаметра трубы.

[ГОСТ Р 71172—2023, пункт 3.1.1]

3.1.24 **правило 3D** (3D rule): Длина отвода, измеренная от внутренней поверхности основной трубы до конца застойной зоны, должна быть меньше или равна трем внутренним диаметрам отвода.

Примечание — В случае установки на отводе клапана концом застойной зоны является точка уплотнения клапана.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АИП — аварийный источник питания;

ВЧ — высокочистый;

ДВ — деионизованная вода;

ЗИП — запасные части, инструменты и принадлежности;

ЗРА — запорно-регулирующая арматура;

ИБП — источник бесперебойного питания;

ИОС — ионообменная смола;

КИ — коллоидный индекс;

КИП — контрольно-измерительный прибор;

ЛСЧ — лазерный счетчик частиц;

МЭ — мембранный элемент;

ОВП — окислительно-восстановительный потенциал, мВ;

ООУ (TOC) — общий органический углерод (Total organic Carbon), мг/л, мкг/л;

ПЛК — программируемый логический контроллер;

СВП — система водоподготовки;

СЧВ — сверхчистая вода;

СЭМ (SEM) — сканирующая электронная микроскопия (scanning electron microscopy);

ТО — техническое обслуживание;

УОО — установка обратного осмоса;

УФ — ультрафиолет;

УЧВ — ультрачистая вода;

ФСД — фильтр смешанного действия;

ХПК — химическое потребление кислорода, мг O_2/л;

ЧОВ — частично обессоленная вода;

GFAAS — Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry (атомно-абсорбционная спектроскопия в графитовой печи);

ICP-AES — Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой);

ICP-OES — Inductively Coupled Plasma Optical Emission (оптико-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной аргоновой плазмой);

IRDS/ITRS — International roadmap for devices and systems™ 2023 update yield enhancement/ International technology roadmap for semiconductor (Международная дорожная карта для устройств и систем™ на 2023 год — обновление, повышающее производительность/Международная дорожная карта для полупроводниковых технологий);

HR-ICP-MS — High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (масс- спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой высокого разрешения);

LC-OCD — Liquid Chromatography with Organic Carbon Detector (жидкостная хроматография с детектором органического углерода);

LNS — Liquid NanoParticle Sizer (анализатор размеров наночастиц в жидкости);

LPC — Laser Particle Counter (лазерный счетчик частиц);

NVR— Nonvolatile Residue (нелетучий осадок);

PSDA — Particle Size Distribution Analyzer (анализатор распределения частиц по размерам).

4 Классификация воды для производства электронной техники

4.1 Типы воды и требования к воде в точках потребления

Стандартом вводятся восемь типов воды в зависимости от состава, применения и качества воды: E1, E1-1, E1-2, E-1.3, E-1.4, E1-5, E2, E-3.

Показатели качества описаны в [1] — [3], кроме значения электропроводности СЧВ типа E-2, для которой в исходном стандарте приведено значение 16,5 МОм·см при температуре 25 °С.

В связи с тем что уровни загрязнений в воде E1.3, E1.4, E1.5 находятся за пределами точности аналитических методов измерения, следует применять упреждающий подход (см. 3.1.14). Когда нет возможности установить влияние концентраций примесей, находящихся за границей чувствительности аналитических приборов, на качество продукции, то нужно установить корреляционную связь между процентом выхода качественных изделий и мероприятиями/технологиями, корректирующими состав ультрачистой воды.

В таблице 1 представлены типы воды и требования к параметрам воды для производства электронной техники.

Таблица 1 — Типы воды и требования к воде в точках потребления

Параметры \ Тип воды	E-1	E-1.1	E-1.2	E-1.3	E-1.4	E-1.5	E-2	E-3
Название воды	СЧВ с дополнительными требованиями по ООУ		УЧВ с дополнительными требованиями по частицам				СЧВ	ДВ
Минимальный линейный размер элемента транзистора (топология технологического процесса), нм	1000— 500	350—250	180—90	65—32	<45	<10	5000—1000	>5000
Удельное сопротивление[1], 25 °С, on-line, МОм·см	18,1	18,18	18,18	18,18	18,18	18,18	18,1	12
Общий органический углерод (ООУ, TOC), мкг/л	5	2	1	1	<1	<0,3 [2]	50	300
On-line растворенный кислород, мкг/л	25	10	3	10 [3]	<10 [3]	<10 [3]	—	—
On-line частиц/литр (микроны)								
<0,05 (50 нм)	—	—	—	500	X [4]	< 5	—	—
0,05—0,1	—	1000	200	Н/д	<50	Н/д	—	—
0,1—0,2	1000	350	<100	Н/д	—	Н/д	—	—
0,2—0,5	500	<100	<10	Н/д	—	Н/д	—	—
0,5—1,0	200	<50	<5	Н/д	—	Н/д	—	—
1,0	<100	<20	<1	Н/д	—	Н/д	—	—
СЭМ частиц, шт./литр								
0,1—0,2 мкм	1000	700	<250	Н/д	—	Н/д	—	—
0,2—0,5 мкм	500	400	<100	Н/д	—	Н/д	3000	—
0,5—1 мкм	100	50	<30	Н/д	—	Н/д	—	10 000
10 мкм	<50	<30	<10	Н/д	—	Н/д	—	—
Метод SEM, определение частиц 50 нм и более в пробе, шт. в 1 л	—	—	—	—	<300	<100	—	—
Прекурсоры частиц [5]	—	—	—	—	См. 4.2.7		—	—
Ожидаемая концентрация частиц в пробе методом LNS [6] шт./л (нанометр)								
3,0	—	—	—	—	—	<10 000	—	—
9,0	—	—	—	—	—	<1000	—	—
20	—	—	—	—	—	<50	—	—
Бактерии в КОЕ/объем								
Образец 100 мл	5	3	1	Н/д	<1	<1	10	50
Образец 1 л	—	—	10	1	—	—	—	—

Продолжение таблицы 1

Параметры \ Тип воды	E-1	E-1.1	E-1.2	E-1.3	E-1.4	E-1.5	E-2	E-3
Образец 10 л	—	—	—	1	1	1	—	—
Общий кремний, мкг/л	5	3	1	0.5	<0,05	<0,01	10	50
Растворенный кремний, мкг/л	3	1	0.5	0.5	—	—	—	—
Нелетучий остаток (Nonvolatile Residue, NVR), нг	1000	500	100	НД	<100 [7)]	<50 [7)]	Н/д	Н/д
Анионы и аммоний по ионной хроматографии, нг/л (ppt)								
Аммоний	100	100	500	50	<50	<20	—	—
Бромид	100	50	20	50	<50	<10	—	—
Хлорид	100	50	20	50	<50	<10	—	—
Фтор	100	50	30	50	<50	<10	—	—
Нитрат	100	50	20	50	<50	<10	—	—
Нитрит	100	50	20	50	<50	<10	—	—
Фосфат	100	50	20	50	<20	<10	—	—
Сульфат	100	50	20	50	<50	<10	—	—
Металлы и бор, HR-ICP-MS, нг/л (ppt)								
Алюминий	50	20	5	1	<1	<0,5	—	—
Барий	50	20	1	1	<1	<0,5	—	—
Сурьма	—	—	—	1	<1	<0,5	—	—
Мышьяк	—	—	—	1	<1	<0,5	—	—
Бор	300	100	50	50	<50	<15	—	—
Кадмий	—	—	—	10	<1	<0,5	—	—
Кальций	50	20	2	1	<1	<0,5	—	—
Хром	50	20	2	1	<1	<0,5	—	—
Медь	50	20	2	1	<1	<0,5	—	—
Железо	50	20	2	1	<1	<0,5	—	—
Свинец	50	20	5	1	<1	<0,5	—	—
Литий	50	20	3	1	<1	<0,5	—	—
Магний	50	20	2	1	<1	<0,5	—	—
Марганец	50	20	2	1	<1	<0,5	—	—
Никель	50	20	2	1	<3	<1,6	—	—
Калий	50	20	5	1	<1	<0,5	—	—
Натрий	50	20	5	1	<1	<0,5	—	—
Стронций	50	20	1	-	<1	<0,5	—	—
Олово	—	—	—	1	<1	<0,5	—	—

Продолжение таблицы 1

Параметры \ Тип воды	E-1	E-1.1	E-1.2	E-1.3	E-1.4	E-1.5	E-2	E-3
Титан	—	—	—	1	<1	<0,5	—	—
Ванадий	—	—	—	1	<1	<0,5	—	—
Цинк	50	20	2	1	<1	<0,5	—	—
Кобальт	—	—	—	—	<1	<0,5	—	—
Молибден	—	—	—	—	<1	<0,5	—	—
Платина	—	—	—	—	<1	<0,5	—	—
Вольфрам	—	—	—	—	<1	<0,5	—	—
Концентрация металлов в системе хранения (Co, Cu, Pt, Ag, Mo, W, Ti, Mn) в технологии производства оптических датчиков, нг (ppt)	—	—	—	—	<1	<0,5	—	—
Концентрация металлов в точках потребления (Co, Cu, Pt, Ag, Mo, W, Ti, Mn) в технологии производства оптических датчиков, нг (ppt)	—	—	—	—	<0,2	<0,05	—	—
Стабильность температуры для иммерсионной литографии, К	Н/д	Н/д	Н/д	±1	±1	±1	Н/д	Н/д
Температурный градиент (К/10 мин) для иммерсионной литографии	Н/д	Н/д	Н/д	<0,1	<0,1	<0,1	Н/д	Н/д
Растворенный азот on-line, мг/л (только для УЗ-очистки)	Н/д	Н/д	Н/д	8-18	8-18	8-18	Н/д	Н/д
Пероксид водорода, мкг/л	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	3	1	Н/д	Н/д
Стабильность поддержания концентрации азота, мг/л (только для УЗ-очистки)	Н/д	Н/д	Н/д	±2	±2	±2	Н/д	Н/д

[1] Погрешность измерения удельного электрического сопротивления УЧВ должна быть не более ±0,2 Мом·см.

[2] ТОС для иммерсионной литографии <1,0 мкг/л и <3 мкг/л для некритических органических веществ. Критические органические соединения должны контролироваться до уровня <1 мкг/л. Критические органические вещества — это нелетучие полярные органические соединения с температурой кипения >200 °С.

[3] Критическая концентрация кислорода определяется технологическим процессом. Для чувствительных к кислороду процессов устанавливают предел в 1 мкг/л.

Окончание таблицы 1

[4] Нормативное значение концентрации частиц предприятие принимает самостоятельно, руководствуясь процентом отбракованной продукции от 1 % до 20 %. Рекомендуется использовать самые передовые методы измерения для решения задач по контролю частиц. Целевое значение концентрации частиц критического размера на входе в фильтры точек потребления определяется на основе следующих утверждений и предположений:

- целевая концентрация частиц критического размера в УЧВ составляет 10 шт./мл (согласно требованиям IRDS);
- используются лучшие в своем классе фильтры, обеспечивающие эффективность удаления частиц критического размера не менее 99 %, что должно быть подтверждено тестом (см. 4.2.6.7) или методом LNS. Для частиц размером менее 10 нм следует предположить более низкую эффективность. Может потребоваться учет эффективности фильтрации в точках потребления;
- для контроля частиц с помощью существующих онлайн-счетчиков частиц (см. 4.2.6.3, 4.2.6.6) используется аппроксимация по закону распределения. Рекомендуется использовать коэффициент распределения n равный 3.

[5] Прекурсоры частиц (см. 4.2.7) — это локальные концентрации высокомолекулярных соединений, которые могут изменить свою морфологию под воздействием химических или физических условий и сформировать фазу, способную осаждаться на поверхности пластины в виде частиц. Обнаружить прекурсоры частиц — задача не тривиальная. Метод распыления воды, содержащей прекурсоры частиц до испарения, и исследование образовавшегося аэрозоля (LNS) показал перспективность в обнаружении прекурсоров частиц таким способом.

[6] Приведенные значения гармонизированы с данными таблицы 2.

[7] Метод используется как индикатор проскока кремния для оценки стабильности работы системы водоподготовки. Изменение величины на 20 нг от средних значений считается сигналом для проведения более тщательной проверки проскока кремния.

Примечания

1 Знак «—» означает, что стандарт не требует проведения контроля этого параметра.

2 «Н/д» означает, что хотя контроль по этому параметру может вестись, например для оценки работоспособности оборудования, однако стандарт не устанавливает требования к указанному параметру. Это характерно для тех случаев, когда контролируются более информативные параметры или этот параметр перекрывают другие. Например, контролируются более мелкие частицы, тогда контроль более крупных становится бесполезным, т. к. технология удаления исключает проскок более крупных частиц.

4.2 Описание параметров, контролируемых в ультрачистой воде

4.2.1 Удельное электрическое сопротивление

Удельное электрическое сопротивление точно измеряется только с помощью кондуктометров, работающих в проточном режиме. Значение 18,18 МОм·см — теоретический верхний предел для чистой воды при температуре 25°С. Измерение удельного сопротивления в режиме онлайн — распространенный и относительно недорогой метод, но на точность измерения удельного сопротивления влияют настройка датчика, скорость потока воды и ее температура. Поэтому измерения удельного сопротивления не могут дать представление об ионном загрязнении на уровне нанограммов. Точность измерения удельного сопротивления обычно составляет ±0,2 МОм·см, в некоторых случаях точность может быть улучшена, но даже этого бывает недостаточно для определения следов ионного загрязнения.

Метрологические ограничения кондуктометров следует учитывать при разработке системы УЧВ.

4.2.2 Нелетучий остаток (NVR)

NVR определяется как остаток после испарения воды. Измерение NVR в режиме онлайн работает в диапазоне от 1 нг/л (ppt) до 60 мкг/л (ppb) и обеспечивает дополнительный оперативный контроль качества воды. Например, измерение NVR может дать четкое представление о проскоке кремния в системе получения УЧВ на уровне, не обнаруживаемом онлайн-анализаторами кремния (см. 4.2.9). Исследования IRDS показали, что коллоидный кремний может адсорбировать металлы и выступать для них в качестве транспортной поверхности. Измерение нелетучего остатка в режиме онлайн позволило установить, что изменение NVR всего на 20 нг/л значительно влияет на качество воды. Большинство современных систем УЧВ работают при уровне NVR <100 нг/л. Учитывая существующие ограничения в измерении частиц и высококипящих органических веществ, измерение нелетучего остатка служит индикатором стабильности системы УЧВ.

Примечание — Для этих целей используется проточный испарительно-конденсационный счетчик частиц (Nebulization with Condensation Particle Counter, NCPC). Используемый метод измерения позволяет подсчитать количество частиц, но не может различать частицы разного размера. Применительно к анализу воды этот прибор называется счетчиком частиц конденсата, полученного из водной среды (Water-based Condensation Particle Counter, WCPC). Этот метод измерения описан в [4].

Каждое предприятие электронной промышленности должно самостоятельно оценивать необходимость проведения испытаний на NVR и определять целевые значения, основываясь на имеющемся опыте работы с системами УЧВ.

4.2.3 Общий органический углерод

Общий органический углерод обычно выражается в мкг/л (ppb) и также известен как общий окисляемый углерод. ООУ определяется как эквивалентное количество углекислого газа, образующегося в результате окисления органических соединений в пробе УЧВ под воздействием УФ-излучения 185 нм в ячейке ТОС-анализатора (см. ГОСТ 31958—2012). Предел измерения ООУ в режиме онлайн составляет в настоящее время 50 нг/л (0,05 мкг/л), поэтому рекомендуемый уровень менее 1 мкг/л надежно измеряется с помощью доступных онлайн-приборов.

4.2.4 Растворенные газы

Контроль растворенных газов диктуется прежде всего технологическим процессом, который может требовать как насыщения УЧВ газами, так и их удаления.

4.2.4.1 Кислород

В настоящем стандарте указан предел 10 мкг/л растворенного кислорода. Для критических процессов могут потребоваться более низкие значения (вплоть до 1 мкг/л растворенного кислорода). Этого можно достичь только в том случае, если УЧВ изолирована от атмосферы. Точность обнаружения кислорода анализаторами составляет ± 0,2 мкг/л.

4.2.4.2 Азот

Растворенный азот в УЧВ прежде всего необходим для проведения эффективной мегазвуковой отмывки пластин и для функционирования литографического сканера. Стабильность поддержания концентрации азота в УЧВ определяется конкретной технологией и, как правило, составляет ±2 мг/л при концентрации 8—18 мг/л; конкретные значения для своего объекта определяют технологи. Если уровень растворенного кислорода в УЧВ поддерживается около 10 мкг/л, то предполагается, что уровень растворенного азота составляет примерно 1 мг/л (благодаря мембранной дегазации с азотом в качестве газа-носителя). Поэтому для достижения необходимой концентрации растворенного азота может потребоваться насыщение азотом. Газификация азотом УЧВ в точке использования более экономична и легче контролируется, если исходный уровень растворенного азота в УЧВ стабилен. Точность определения азота в современных анализаторах, работающих в проточном режиме, находится в пределах ±0,3 мг/л, что соответствует требуемой точности поддержания концентрации азота в УЧВ.

4.2.5 Перекись водорода

Источником перекиси водорода в системе УЧВ может быть УФ-лампа, а также озон, если организовано хранение УЧВ под озоном. Перекись водорода и озон могут быть удалены введением водорода в поток воды перед фильтром с палладированной ионообменной смолой или путем использования анионита в сульфитной форме (SO_3^{2-}). В последнем случае необходимо наличие финишного полировочного фильтра. Также может быть использован фильтр со специальным углем, полученным обугливанием жидких дистиллированных нефтепродуктов. Такой уголь применяется самостоятельно или чаще в смеси со смешанной смолой, что позволяет достичь низкого значения ТОС и остаточных окислителей после УФ-лампы. На настоящий момент существует ограниченная информация о наличии перекиси водорода в большинстве систем УЧВ, и неясно, какое влияние окажет определение конкретных значений этого параметра на процессы производства. Также неизвестно, какой метод тестирования может обеспечить точное и надежное измерение перекиси водорода. Однако предполагается, что после УФ-лампы 185 нм концентрация пероксида водорода в УЧВ может составлять 30 мкг/л и более.

4.2.6 Частицы

Максимально допустимая концентрация частиц в УЧВ зависит от допустимого уровня дефектов на пластине. Критическое значение имеет размер частиц. Взаимосвязь между допустимой концентрацией частиц, осевших на пластине, и концентрацией их в УЧВ основывается на экспериментальных данных и теоретическом моделировании.

Существующие методы непосредственного подсчета частиц в УЧВ не позволяют обнаружить все частицы целевого размера (<20 нм), содержащие кремний, однако все равно рекомендуется проводить контроль коллоидного кремния, используя методы подсчета частиц.

4.2.6.1 Меры по снижению рисков, связанных с частицами (упреждающий контроль)

Хотя частицы невозможно непосредственно и точно отследить и, следовательно, эффективно контролировать, существуют меры, которые рекомендуется принимать для снижения рисков появление частиц в УЧВ, например:

- контроль производительности фильтров финишной очистки;
- контроль частиц с помощью традиционных счетчиков;
- уменьшение количества частиц благодаря контролю качества материалов, использующихся на участке финишной очистки;
- косвенные методы контроля частиц.

4.2.6.2 Анализ эффективности фильтров

Для обеспечения эффективной работы фильтров, применяемых в системах финишной очистки УЧВ, необходимо квалифицировать фильтры по известным методикам [4]. Проверка работоспособности (целостности) фильтра должна осуществляться неразрушающими методами. Выполнение этой проверки через регулярные промежутки времени обеспечит надлежащую эффективность удаления частиц.

4.2.6.3 Контроль частиц

4.2.6.3.1 Счетчики частиц следует устанавливать перед фильтрами финишной очистки, там концентрация частиц выше и лучше соотношение сигнал/шум. В этом месте распределение частиц по размерам не зависит от фильтра, и для оценки концентрации частиц критического размера можно использовать аппроксимацию закона распределения частиц (см. примеры расчетов в приложении А). Подсчеты следует интерпретировать как нагрузочную концентрацию для фильтра, что позволит оценить срок его службы. Коэффициент распределения n, равный 3, является приемлемым значением для таких расчетов (см. 4.2.6.6).

Примечание — Критический размер частиц зависит от размеров производственного узла. Согласно IRDS этот размер равен половине расстояния между самыми близкими элементами транзистора, выраженного в нм.

4.2.6.3.2 Отбор проб воды, прошедшей через тестовый фильтр, и последующий анализ поверхности фильтра с помощью СЭМ рекомендуется проводить в сочетании с онлайн-мониторингом частиц. Этот метод позволяет получить дополнительную информацию об уровне загрязнения УЧВ частицами. Он особенно полезен в случае механического разрушения финишных фильтров. При этом обнаружение частиц зависит от следующих факторов:

- размера пор фильтра (не менее 50 нм);
- качества фильтра (фонового уровня частиц);
- части площади фильтра, сканируемой для подсчета частиц;
- чувствительности электронного сканирующего микроскопа.

Значения, приведенные в таблице 1, представляют собой средние значения количества частиц на пустом фильтре при стандартном коэффициенте распределения $n = 3$. Их определяют для фильтров с размером пор 50 нм в исследовательской лаборатории материалов при условии, что объем отфильтрованной пробы составляет 1000 л. 1000 л — это минимальный рекомендуемый объем пробы. Учитывая сложность факторов, влияющих на способность обнаружения частиц, ожидается, что лаборатория, выполняющая СЭМ-анализ, определит минимально необходимый процент площади фильтра, сканируемого для подсчета, и продемонстрирует точность полученных результатов.

4.2.6.4 Дополнительные методы измерения

Рекомендуется проводить анализ поверхности отработанных фильтров, чтобы определить состав задержанных ими частиц, их количество и распределение. Это может помочь идентифицировать источник частиц в системе как на этапе опытной эксплуатации системы УЧВ, так и в процессе ее жизненного цикла.

4.2.6.5 Распределение частиц по размеру (закономерности логнорма́льного распределения)

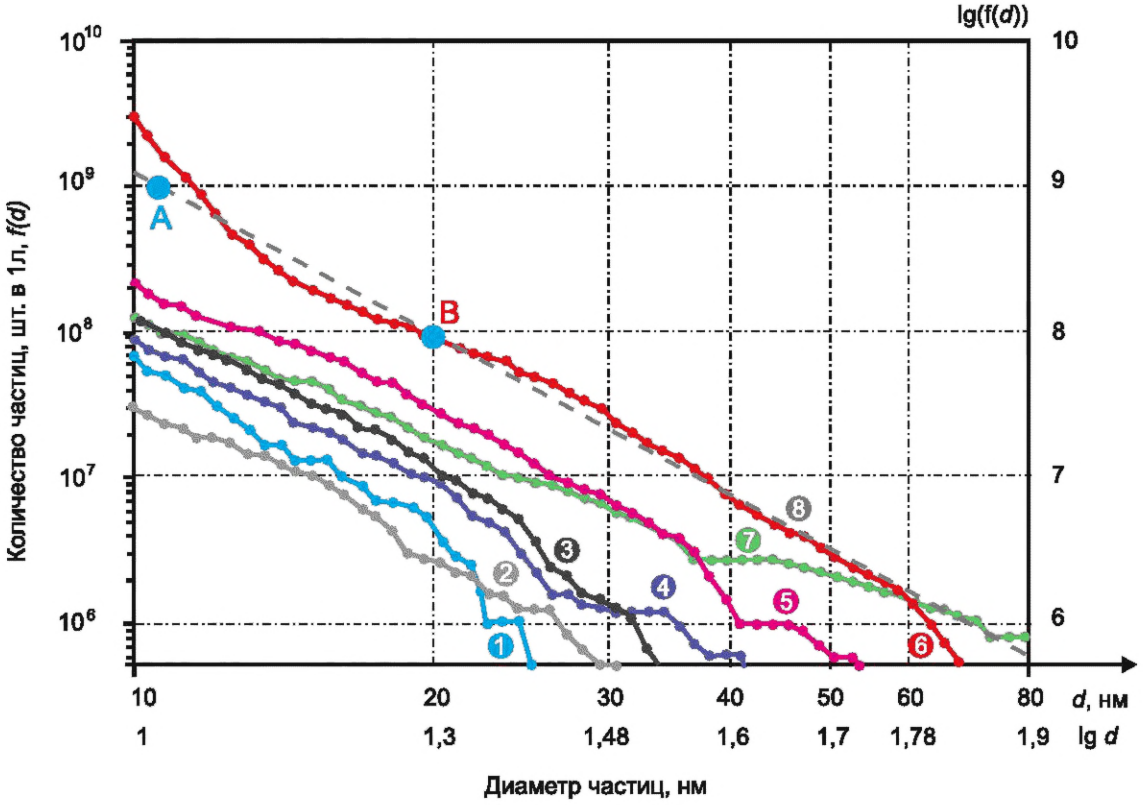
Контроль частиц в условиях, когда невозможно напрямую и достоверно определить содержание в УЧВ частиц размером менее 20 нм, следует выполнять согласно упреждающему контролю, что означает исследование закономерностей распределения частиц в модельном растворе.

Для того чтобы определить, как распределены по размерам частицы аэрозолей и частицы, содержащиеся в воде, часто используют логарифмически-нормальное распределение. Логнормальное распределение — это график зависимости концентрации частиц от их минимального размера, на ко-

тором количество частиц и их размеры представлены в логарифмическом масштабе (см. рисунок 1). Математически оно описывается следующим образом:

$$f(d) = K \cdot d^{\,n}, \tag{1}$$

где $f(d)$ — совокупная концентрация частиц (для частиц диаметра d и больше),
K — концентрационная переменная,
d — диаметр частиц,
n — коэффициент распределения в логарифмическом пространстве.



Линии 1—7 соответствуют различным типам ионообменных смол;
прямая 8 — аппроксимация данных линии 6

Рисунок 1 — Графики зависимости количества частиц,
выделяемых ионообменными смолами разных типов, от размера этих частиц

Чтобы определить значение коэффициента распределения, сначала график надо аппроксимировать прямой. Тогда коэффициент распределения n определяется по наклону этой прямой следующим образом:

$$n = \frac{\Delta \lg (f(d))}{\Delta \lg (d)}. \tag{2}$$

На рисунке 1 представлены графики распределения, полученные на основании статистических данных о выделяемых частицах из семи образцов ионообменных смол. Данные получены методом определения размера наночастиц в жидкости [LNS] при исследовании ионообменных смол ITRS 2014 года.

Примечания

1 Аппроксимацией называют замену одних математических объектов другими, в том или ином смысле близкими к исходным. Аппроксимировать ломаную линию можно или всю, или ее отдельный участок.

2 Метод LNS позволяет определять концентрацию частиц размером от 5 до 100 нм. LNS представляет собой трехступенчатую систему, включающую распылитель наночастиц NanoParticle Nebulizer (NPN), классификатор ионной подвижности в кольцевом потоке Annular Flow Ion Mobility Classifier (AFIMC) и счетчик частиц с быстрой конденсацией Fast Condensation Particle Counter (FastCPC).

Наклон графика для образца ионообменной смолы 6 аппроксимирован прямой 8, а коэффициент распределения частиц по размерам рассчитан с использованием уравнения (2) по двум точкам (lg ($f(d)$); lg d) прямой 8: A(9; 1,03) и B(8; 1,30). В результате $n = (8 - 9)/(1{,}30 - 1{,}03) = -3{,}7$.

Применяя формулу (1) для концентрации частиц диаметром d и $2d$, можно получить полезное соотношение:

$$f(d) = f(2d) \cdot \left(\frac{d}{2d}\right)^n = f(2d) \cdot 2^{-n}. \quad (3)$$

При значении коэффициента распределения $n = -3{,}7$

$$f(d) = f(2d) \cdot 2^{3,7} = f(2d) \cdot 13.$$

Это означает, что в рассматриваемом примере частицы размером в 2 раза меньше имеют концентрацию в 13 раз больше. Дополнительная информация приведена в приложении А.

4.2.6.6 Смолы финишной очистки

Ионообменные смолы должны быть протестированы согласно приложению Б, поскольку являются источниками частиц размером 10—20 нм.

4.2.6.7 Подсчет частиц, осевших на тестовой кремниевой пластине

Наряду с описанным выше подходом может применяться моделирование процесса изготовления чипа на кремниевой пластине с одновременным подсчетом частиц, осевших на пластине после каждой процедуры, имитирующей изготовление чипов на контрольном образце. Подсчет частиц на поверхности кремниевой пластины проводят с помощью технологии Surface Enhanced Particle Sizing (SEPS), работающей в диапазоне от 8 до 100 нм. На площади, составляющей 10 % от площади пластины, осуществляют физический подсчет частиц и определяют их размер.

В результате исследований, в которых использовался этот подход, для 2022 г. и 2025 г. сформулированы ожидания количества дефектов на 300 мм кремниевой пластине. Расчеты выполнены с учетом размеров слоев Gate и Fin (см. [3], [5]). Результаты этих расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Дорожная карта по контролю частиц в УЧВ

Часть транзистора	2022 г.				2025 г.			
	D, нм	D/пл., шт.	$C_ч$/мл, шт.	IRDS $C_ч$/мл, шт.	D, нм	D/пл., шт.	$C_ч$/мл, шт.	IRDS $C_ч$/мл, шт.
Gate	9,0	5,0	3,3	1	7,0	6,6	4,4	1
Fin	3,0	136,1	125,6	100	3,5	52,8	43,9	10

Примечание — D, нм — размер дефекта (частица критического размера); D/пл., шт. — число обнаруженных дефектов на пластине 300 мм; $C_ч$/мл, шт. — число частиц в 1 мл УЧВ; IRDS $C_ч$/мл, шт. — число частиц в 1 мл УЧВ согласно ожиданиям IRDS.

4.2.7 Прекурсоры частиц

Прекурсоры частиц — это растворенные соединения, которые при высыхании УЧВ образуют частицы на поверхности пластин. Их допустимое количество должно быть самостоятельно определено предприятием, эксплуатирующим систему водоподготовки. Основным источником прекурсоров частиц в ультрачистой воде являются высокомолекулярные органические вещества, которые вымываются из ионообменных смол.

4.2.7.1 Новые методы подсчета частиц (см. 4.2.7.2), посредством которых можно обнаружить частицы размером до 10 нм, позволяют выявить на порядки большее количество частиц по сравнению с

количеством частиц, определяемым ЛСЧ. Оно может достигать более 100 000 частиц на 1 мл. Возможно, большинство этих частиц — высокомолекулярные органические предшественники частиц, не обнаруживаемые ЛСЧ. Такие «прозрачные» органические частицы могут оказать значительное влияние на выход продукции по мере перехода к технологиям с шириной линии менее 10 нм и 3D-архитектурам, где частицы размером всего в несколько нанометров могут повлиять на производство. Целевой уровень прекурсоров частиц по LNS (см. 4.2.7.2) составляет ориентировочно 20 000 частиц в 1 мл УЧВ.

4.2.7.2 Исследования содержания в УЧВ частиц размером 3—500 нм стали возможны благодаря технологии анализатора наночастиц в жидкости LNS. Метод LNS состоит из трех технологических этапов. Сначала УЧВ диспергируется в виде капель, при этом допускается, что концентрация частиц в УЧВ изначально такова, чтобы при распылении в каждой капле присутствует не более одной частицы. Кроме того, при измерении в различных рабочих условиях прибор способен определять, являются ли измеряемые частицы изначально растворенными или прекурсорами частиц. Далее капли подвергаются высушиванию и формируется аэрозоль (взвесь твердых частиц в воздухе или газе-носителе). Аэрозоль направляется в сканирующий анализатор подвижности частиц (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS), который может различать частицы от 3 нм. Этот метод считается перспективным для детектирования прекурсоров частиц [6].

Примечание — В свою очередь, SMPS представляет собой комбинацию методов Differential Mobility Analyzer (DMA) или Annular Flow Ion Mobility Spectrometer (AFIMS) и Condensation Particle Counter (CPC). В первом происходит классификация частиц по размеру, во втором — формирование капель конденсата на монодисперсных частицах, прошедших классификацию. Капли формируются такого размера, чтобы они могли быть обнаружены оптическим методом.

4.2.8 Микроорганизмы

Микроорганизмы могут вызывать те же типы дефектов, что и другие частицы. Микроорганизмы особенно важно контролировать во время запуска и ввода в эксплуатацию, т. к. они попадают в систему чаще всего в результате загрязнения монтируемых компонентов. Микроорганизмы невозможно обнаружить с помощью ЛСЧ, поскольку они имеют схожий с водой коэффициент преломления.

В ГОСТ 34786 приведены надежные, экономичные и репрезентативные методы обнаружения гетеротрофных бактерий.

Примечание — Гетеротрофные бактерии — бактерии, использующие органические соединения в качестве источника энергии и углерода. Подавляющее число известных видов бактерий относится к гетеротрофным.

4.2.8.1 Обычно культивирование проводят одновременно в трех повторах одной пробы, фильтруя образцы засеваемой воды объемом 100 мл, 1 л или более. Температура инкубации варьируется от 22 °С до 36 °С, время инкубации — от 24 ч до 3 дней. Выбор обоих параметров зависит от внутренних спецификаций компании. Общепринятый промышленный стандарт — (22 ± 2) °С в течение 24 ч.

Примечания

1 Во время ввода в эксплуатацию новой системы рекомендуется пять повторов одной пробы (для увеличения точности результатов).

2 В качестве альтернативы методикам, указанным в ГОСТ 34786, можно использовать агар R2A (метод APHA 9215). Этот метод дает схожие результаты.

3 Несмотря на то что в таблице 1 указан только объем пробы 100 мл, рекомендуется использовать две пробы разных объемов 100 и 1000 мл. При положительном результате подсчета бактерий именно использование разных объемов, если оно показало эквивалентное количество бактерий (примерно на порядок бóльшее количество КОЕ в пробе объемом 1000 мл по сравнению с пробой объемом 100 мл), доказывает истинное загрязнение УЧВ (а не загрязнение пробы во время отбора).

4.2.8.2 Принято считать, что если в большинстве проб микроорганизмы не обнаружены, то результат соответствует требованиям таблицы 1.

4.2.9 Кремний

Кремний может присутствовать в УЧВ в виде растворенных и коллоидных соединений.

Общее содержание кремния, концентрация которого обычно выражается в мкг/л в пересчете на диоксид кремния, измеряется методами атомно-абсорбционной спектроскопии в графитовой печи (GFAAS), атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES), оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной аргоновой плазмой (ICP-OES), масс-спектроскопией с индуктивно-связанной плазмой высокого разрешения (HR-ICP-MS) или по синему кремний-молибденовому комплексу фотометрическим методом.

4.2.9.1 Растворенный кремний, концентрация которого обычно выражается в мкг/л в пересчете на диоксид кремния, измеряется методом фотометрии по синему кремний-молибденовому комплексу с предварительным концентрированием проб или методом ионной хроматографии.

4.2.9.2 Коллоидный кремний считают особенно вредным для производства полупроводников. Поэтому коллоидный кремний следует контролировать как частицы до необнаруживаемого уровня.

4.2.9.3 Пока не доступен эффективный контроль частиц критического размера для подтверждения отсутствия коллоидного кремния, рекомендуется измерять общий и растворенный кремний, используя наиболее чувствительные методы.

4.2.9.4 Коллоидный кремний определяют косвенно, как разность концентрации общего кремния и концентрации растворенного кремния.

4.2.9.5 Пределы обнаружения общего кремния слишком высоки, чтобы быть полезными в качестве запасного метода обнаружения частиц коллоидного кремния. Измерение NVR может обеспечить онлайн-индикацию присутствия коллоидного кремния в УЧВ.

4.2.9.6 Для того чтобы улучшить эффективность определения коллоидного кремния, рекомендуется разместить точку контроля коллоидного кремния на входе в фильтры финишной очистки. Последние еще уменьшат содержание коллоидного кремния, что позволит снизить риски для производства.

4.2.10 Ионные примеси

4.2.10.1 Анионы и катионы, такие как аммоний, бромид, хлорид, фторид, нитрат, нитрит, фосфат и сульфат, могут быть определены с помощью ионной хроматографии.

4.2.10.2 В таблице 1 перечислены элементы, содержание которых контролируется в ультрачистой воде.

Примечание — С помощью методов GFAAS, ICP-AES или ICP-MS могут быть определены до 68 элементов, представляющих интерес, включая перечисленные в таблице 1.

4.2.10.3 Ионы металлов оказывают значительное влияние на выход полупроводников по следующим причинам:

- щелочные металлы могут вызывать пробой диэлектриков;
- металлы, образующие силициды, могут вызывать пробой диэлектриков;
- переходные и тяжелые металлы могут приводить к дефектам кристаллов, проблемам со временем жизни микросхемы и даже к поверхностному дефекту вокруг частиц металла;
- переходные металлы могут влиять на *p*-*n*-переходы.

4.2.10.4 Анионы могут усиливать адсорбцию ионов металлов и оказывать влияние на выход полупроводников (см. 4.2.10.3).

4.2.11 Температура

Таблица 1 содержит требования к температуре для оборудования фотолитографии с погружением, использующего УЧВ в качестве погружной жидкости: стабильность температуры ±1 °С, температурный градиент — скорость изменения температуры — < 0,1 °С/10 мин.

5 Технологии производства ультрачистой воды

Производство ультрачистой воды представляет собой многостадийный процесс, особенность которого в том, что ультрачистая вода потребляется в момент получения. Неиспользованная ее часть возвращается в емкость и затем повторно направляется на финишную очистку. Процесс получения УЧВ непрерывный. В настоящем разделе описана система получения ультрачистой воды.

Настоящий стандарт выделяет следующие основные стадии производства УЧВ:

- получение сверхчистой (подпиточной) воды (СЧВ);
- получение УЧВ и ее распределение потребителям.

СЧВ является исходной для получения УЧВ. Типовая технологическая схема системы водоподготовки УЧВ приведена на рисунке 2. Описание основных процессов представлено в 5.1—5.3.

Контуры распределения для доставки УЧВ к технологическому оборудованию и возврата неиспользованной воды в емкость рассмотрены в разделе 6. Блок-схемы получения СЧВ приведены в приложении В, а блок-схемы получения и распределения УЧВ — в приложении Г.

В приложении Д представлено описание повторного использования ДВ.

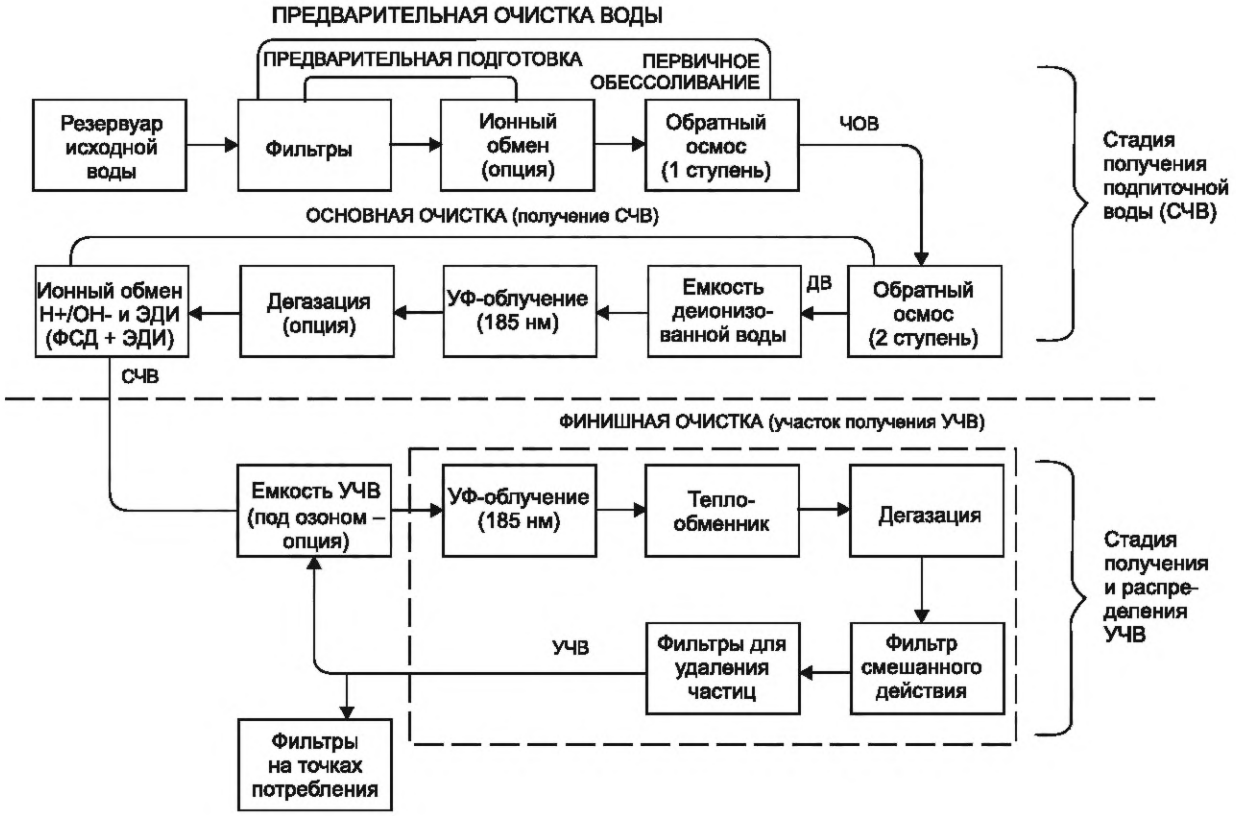


Рисунок 2 — Типовая технологическая схема системы водоподготовки УЧВ (см. [7] — [9])

5.1 Получение сверхчистой (подпиточной) воды

Система получения СЧВ включает в себя следующие этапы:

- предварительная очистка воды (получение ЧОВ);
- основная очистка воды (получение СЧВ).

5.1.1 Предварительная очистка воды (получение ЧОВ)

Эта часть системы водоподготовки включает предварительную подготовку — все стадии подготовки воды перед первой ступенью обратного осмоса — и первичное обессоливание на первой ступени обратного осмоса. На выходе должна получаться частично обессоленная вода. Состав технологической цепочки предварительной подготовки зависит от химического состава исходной воды и должен обеспечивать стабильную работу установки обратного осмоса. Наиболее важные параметры исходной воды — это коллоидный индекс, общая жесткость, общее железо, мутность, алюминий, свободный хлор, общий органический углерод. Предварительная подготовка воды может включать в себя комбинацию из перечисленного ниже оборудования, но не ограничиваться им.

5.1.1.1 Емкости. Емкость исходной воды предназначена для создания запаса воды, защищающего СВП от кратковременных перебоев в водоснабжении завода. Емкость частично обессоленной воды может быть необходима в том случае, когда есть потребители воды, которым достаточно качества ЧОВ. Емкость деионизованной воды предназначена для накопления запаса пермеата второй ступени установки обратного осмоса — деионизованной воды, а также для организации контура циркуляции вокруг установки УФ-облучения, дегазации и финишной деионизации. В случае организации циркуляции возможно потребуется теплообменный аппарат для отвода избыточного тепла.

5.1.1.2 Теплообменное оборудование компенсирует колебания температуры исходной воды, препятствуя выпадению конденсата на поверхности оборудования и обеспечивая стабильную работу установок обратного осмоса. Кроме того, оно является первой ступенью температурной стабилизации УЧВ.

5.1.1.3 Фильтры различной конструкции предназначены для корректировки состава исходной воды, обеспечивая стабильную работу УОО. Это могут быть фильтры с зернистой загрузкой, микрофильтры, ультрафильтры.

Фильтры с зернистой загрузкой — это емкостное оборудование с трубопроводами и арматурой, в котором в качестве рабочей среды используется фильтрующий материал. В зависимости от цели это может быть кварцевый песок, гидроантрацит, каталитическая фильтрующая засыпка, ионообменная смола, активированный уголь. В приложении Е кратко приведены свойства различных фильтрующих материалов.

Фильтр-умягчитель с загрузкой из катионообменной смолы предназначен для удаления из исходной воды ионов кальция, магния и бария, т. к. эти катионы образуют нерастворимые осадки на мембранах УОО. Вместо использования фильтров-умягчителей для подавления осадкообразования на мембранах УОО можно дозировать антискаланты — вещества, подавляющие выпадение осадков из пересыщенных растворов.

5.1.1.4 Оборудование для микрофильтрации устанавливают перед мембранами обратного осмоса для их защиты от повреждения частицами. Для микрофильтрации с рейтингом 1—5 мкм рекомендуется использовать гофрированные фильтроэлементы, на которых четко определяется перепад давления при их загрязнении и невозможен пробой. Не рекомендуются вспененные и намотанные микрофильтры.

5.1.1.5 Ультрафильтрация — это процесс очистки воды, выполняемый на установке, основным элементом которой являются регенерируемые ультрафильтрационные элементы с размером пор менее 0,05 мкм. В составе предподготовки такие установки предназначены для получения воды с низким коллоидным индексом и являются высокотехнологичной заменой для фильтров с зернистыми загрузками (песок, гидроантрацит).

5.1.1.6 Обратный осмос (ОО) — это технология, реализуемая на мембранных элементах с селективностью задержания растворенных в воде одно- и многозарядных ионов более 90 %. Также с высокой степенью эффективности удаляются коллоидные примеси и органические вещества, имеющие крупные молекулы. Однако технология обратного осмоса не обеспечивает приемлемый уровень задержания веществ, молекулы которых в водном растворе не заряжены или слабо поляризованы; к ним относится угольная, борная, кремниевая кислоты, аммиак, газы (кислород, азот), мочевина. Если в исходной воде преобладают гидрокарбонаты, то после первой ступени обратного осмоса ЧОВ содержит равновесное количество углекислоты, а pH ее на 1—2 единицы ниже, чем у исходной воды. Перед УОО целесообразно предварительно удалить свободную углекислоту вакуумно-эжекционным методом (коэффициент эжекции воздуха должен быть не менее 15). Для целей первичного обессоливания используют одну ступень ОО.

Для более глубокого удаления загрязнителей полученную ЧОВ направляют еще на одну ступень ОО. Такой процесс может быть реализован как на двух одноступенчатых установках ОО, установленных одна за другой, так и на одной двухступенчатой установке (см. также 6.2.1.5). Обессоливание на второй ступени ОО является первым этапом основной очистки воды.

5.1.2 Основная очистка воды (получение СЧВ)

Основная очистка частично обессоленной воды включает стадию обработки на второй ступени ОО, обработку УФ-излучением, дегазацию и глубокое обессоливание на фильтрах с ионообменной смолой или установках электродеионизации. Обработанная таким образом вода, как правило, соответствует по удельному сопротивлению типу Е-1.

На этап основной очистки допускается возвращать использованную потребителями УЧВ, если это не ухудшает качество получаемой УЧВ.

5.1.2.1 Вторая ступень ОО функционирует аналогично первой (см. 5.1.1.6) с той разницей, что на вход подается ЧОВ, а также возвращаемая после использования УЧВ. Для увязки потоков может потребоваться промежуточная емкость. Вторая ступень ОО работает в условиях, исключающих риск осадкообразования на поверхности мембран, за исключением микробиологического обрастания. Вторая ступень применяется для удаления слабо ионизированных примесей (борной, угольной и кремниевой кислот). Для этого на вход УОО дозируется щелочь до значения pH воды от 8,3 до 9,5, что вызывает ионизацию указанных выше примесей и их дальнейшее селективное удаление на мембране. Дозирование в поток гидроксида натрия увеличивает содержание натрия в воде, однако если после первой ступени ОО из ЧОВ удален углекислый газ, то корректировка pH потребует значительно меньших объемов щелочи, что благоприятно скажется на общей минерализации воды.

Удельное электрическое сопротивление после второй ступени ОО может достигать более 1 МОм·см, и, как правило, оно не ниже 0,5 МОм·см.

Если в исходной воде присутствует значительное количество бора, то для его удаления можно использовать борселективные смолы именно на этой стадии очистки.

5.1.2.2 Обработка УФ-излучением с длиной волны 185 нм позволяет удалить органические соединения. Под воздействием УФ-излучения происходит как полное окисление органических веществ до углекислоты и воды, так и неполное их окисление — функционализация: неполярные органические соединения становятся заряженными и затем сорбируются на ионообменной смоле.

Для удаления органических веществ может применяться активированный уголь. В зависимости от стадии обработки воды это может быть стандартный активированный уголь на участке предварительной подготовки (см. 5.1.1.3); отмытый уголь после первой ступени осмоса или ультрачистый углеродный сорбент (получаемый из дистиллированного мазута) на стадии финишного обессоливания в смеси со смешанной смолой, установленный перед или после установки электродеионизации (см. 5.1.2.4). В последнем случае должна быть предусмотрена дополнительная очистка воды на фильтре смешанного действия.

5.1.2.3 Дегазация проводится прежде всего для удаления углекислоты (так называемая декарбонизация). При дегазации могут быть также удалены растворенные газы — кислород и азот. При мембранной дегазации одновременно с удалением воздуха происходит удаление из воды загрязнений (примесей), сорбируемых из атмосферного воздуха (пары́ органических соединений), которые могут быть критичными на этапе основной очистки воды. Также мембранная дегазация может быть применена для насыщения воды азотом на фоне удаления кислорода (при использовании азота в качестве газа-носителя).

5.1.2.4 Финальное обессоливание подпиточной воды, как правило, проводят с помощью технологии электродеионизации (ЭДИ), которая реализуется в электроионитовых модулях, представляющих собой определенным образом сконструированные фильтры смешанного действия, в которых ионообменная смола регенерируется под воздействием электрического тока. При работе ЭДИ получают два потока воды: деионизат и концентрат. Поток концентрата обычно составляет от 5 % до 10 % от исходной воды. Деионизат представляет собой СЧВ с удельным электрическим сопротивлением от 10 до 18 МОм·см и содержанием ООУ не более 100 мкг/л.

5.2 Получение ультрачистой воды и ее распределение

5.2.1 Система получения и распределения УЧВ представляет собой циркуляционный контур, включающий в себя финишную очистку и накопительную емкость УЧВ. СЧВ подается в емкость УЧВ и далее поступает на финишную очистку. Финишная очистка включает в себя обработку воды УФ-излучением, стабилизацию температуры в теплообменнике, финишное обессоливание на фильтрах смешанного действия, дегазацию, удаление частиц согласно требуемой спецификации производства. Кроме того, система получения и распределения УЧВ содержит систему контуров, которые распределяют УЧВ по потребителям и возвращают неиспользованную воду обратно в емкость. Постоянная циркуляция УЧВ по замкнутому контуру позволяет поддерживать качество УЧВ на стабильном уровне, устраняя воздействие на нее материалов трубопроводов и оборудования.

5.2.2 Емкость УЧВ — это емкость, в которую поступает СЧВ из системы получения подпиточной воды и возвращается УЧВ из контура распределения. Емкость предназначена для сглаживания пиков потребления и обеспечивает запас воды на время проведения регламентных работ. Емкость может быть снабжена отдельным контуром для подачи в нее озона. Озон может генерироваться из УЧВ электрохимическим методом или другим способом. Во время запуска системы озон может быть введен в емкость или в контур распределения для их гарантированной санации, при этом не потребуется использовать дезинфектанты, которые загрязняют чистый контур. Как правило, для надлежащим образом спроектированной и обслуживаемой системы поддержание постоянного уровня озона для подавления роста микрофлоры не требуется.

5.2.3 Теплообменное оборудование рассчитывают и выбирают исходя из спецификации пользователя, например: для фотолитографии важна стабильность температуры — изменение температуры воды не должно составлять более 0,1 °С за 10 мин.

5.2.4 Дегазация на этапе финишной очистки воды предназначена для удаления из воды остаточной углекислоты и кислорода. При этом концентрация растворенного азота должна оставаться на уровне от 8 до 18 мг/л, а стабильность концентрации должна составлять ±1—2 мг/л. Углекислота и кислород должны быть удалены как можно полнее. Для этого применяют мембранную дегазацию, суть которой в создании развитой поверхности контакта между водой и газом-носителем (азот): благодаря мембране, обеспечивающей обмен, устанавливается равновесная концентрация газов. Этим методом можно удалить кислород вплоть до 10 мкг/л. Для удаления кислорода до уровня менее 10 мкг/л следует использовать каталитическое гидрирование остаточного кислорода на палладированном анионите.

5.2.5 ФСД используют отмытую смешанную ионообменную смолу. Как правило, устанавливают не менее двух расположенных друг за другом фильтров, рассчитанных на линейную скорость воды не менее 50 м/ч. Расчетный срок эксплуатации ионообменной смолы составляет, как правило, от 3 до 5 лет. Ионообменная смола улавливает углекислоту, окисленные на установке УФ-излучения фрагменты органических веществ, а также заряженные примеси, попадающие в воду из материалов. При необходимости удалять следы озона или перекисей, которые могут генерироваться УФ-лампами, может быть использована ионообменная смола, поверхность которой покрыта металлическим палладием. Перед фильтром с такой смолой дозируют водород для связывания активного кислорода. Чтобы достичь значений по ООУ менее 1 мкг/л смешанная ионообменная смола может быть загружена в корпуса в смеси с ультрачистым активированным углем.

5.2.6 Фильтры для удаления частиц предназначены для улавливания частиц согласно спецификации УЧВ. Обычно это каскады микрофильтров с рейтингом от 0,45 до 0,1 мкм, ультрафильтры с рейтингом менее 0,01 мкм, а также фильтры с заряженной поверхностью. Для контроля эффективности фильтрации частиц размером от 50 до 100 нм используют коммерчески доступные проточные LPC. При необходимости вести контроль частиц размером менее 50 нм используют метод СЭМ (см. 3.1.17). Для контроля также следует применять технологию проточного измерения параметра «нелетучий остаток» (NVR) (см. 4.2.2) и методы, описанные в 4.2.6.6, 4.2.6.7. Кроме методов SEM и LPC, это все непрямые методы исследования состава частиц, содержащихся в УЧВ.

Фильтры для удаления частиц размером менее 50 нм должны проходить исследования задерживающей способности. Оценка применяемых на сегодняшний день ультрафильтров (с размером пор <0,05 мкм) показывает, что они способны с эффективностью 75 % задерживать частицы размером менее 20 нм. Для исследования частиц, содержащихся в УЧВ, могут быть применены непрямые методы, например метод LNS (см. 4.2.7.2).

5.2.7 Система контуров распределения УЧВ выполняется из инертных материалов (см. раздел 6) и предназначена для доставки УЧВ к потребителям, а также для обеспечения непрерывной циркуляции воды по контуру через емкость УЧВ и оборудование финишной очистки. Примеры схем приведены в приложении Г, проектные решения рассмотрены в 6.5.

6 Принципы проектирования системы водоподготовки УЧВ

6.1 Общие сведения и основные параметры исходной воды

Границы СВП УЧВ определяют следующим образом: начало СВП находится в месте подачи воды в емкость исходной воды, конец системы находится в точках подключения клапанов, подающих УЧВ к технологическому оборудованию или любому потребителю, использующему УЧВ для производства.

6.1.1 При проектировании СВП оборудование следует подбирать с учетом химического состава исходной воды и требований конечного пользователя.

6.1.2 В приложении Ж перечислены основные параметры исходной воды, которые подлежат контролю и должны быть известны до начала проектирования.

6.1.3 Вода для производства электронной техники может поступать из сети муниципального водоснабжения, артезианских скважин, находящихся на территории предприятия, или из поверхностных водоисточников. Во всех случаях исходная вода должна подвергаться тщательному контролю химического состава согласно приложению Ж.

6.1.4 Для контроля стабильности качества воды из водоисточника рекомендуется проанализировать архивные (хотя бы за последние 3—4 года) данные о химическом составе воды из этого источника.

В 6.1.4.1—6.1.4.5 приведены сведения о видах примесей, которые могут содержаться в исходной воде.

6.1.4.1 ООУ, перманганатная окисляемость характеризуют содержание в воде органических веществ, таких как гуминовые и фульвокислоты, мочевина, галогенметаны, пестициды, микропластик. Идентификация и количественное определение каждой из групп органических веществ могут помочь в правильном проектировании системы водоподготовки.

6.1.4.2 Мутность, взвешенные вещества обычно определяются гравиметрическим или турбидиметрическим методом. Сюда можно отнести и коллоидный индекс (см. 3.1.20). Эти параметры влияют на продолжительность работы загрузки фильтров на этапе предварительной подготовки, на частоту операций химической очистки и на стабильность работы УОО в долгосрочной перспективе.

6.1.4.3 Ионные примеси (соли)

Для определения состава СВП УЧВ необходимо знать полный ионный состав исходной воды. Особое внимание следует обратить на слабо диссоциированные ионы, такие как бор, кремний, гидрокарбонаты, органические кислоты.

6.1.4.4 Контроль бора

Бор в форме бората является самым слабым неорганическим анионом, присутствующим в исходной воде, и его труднее всего контролировать. В условиях нейтрального или низкого pH более половины бора находится в форме недиссоциированной борной кислоты, которая не задерживается мембранами ОО. Поэтому для повышения эффективности удаления бора на установке ОО требуется увеличить pH обрабатываемой воды выше 9. Однако при pH > 9 следует ожидать увеличения проскока натрия через мембраны ОО.

Для улавливания бора часто используют селективный по бору анионит, однако из-за низкого коэффициента удержания бора может наблюдаться проскок, когда бор медленно высвобождается смолой, создавая фоновую концентрацию бора. Возможный проскок бора особенно важно учитывать в работе системы финишной очистки, когда ионообменная смола используется в течение длительного периода времени без замены или регенерации. Поэтому, по возможности, бор следует удалять на стадиях предварительной очистки или основной очистки воды. Для снижения бора в сверхчистой воде можно использовать селективную по бору смолу, организовав вокруг нее циркуляцию СЧВ с отбором в контур распределения, обеспечивая таким образом многократный процесс сорбции бора.

6.1.4.5 Если в качестве исходной воды используется артезианская вода, то в ней может содержаться высокая концентрация кремния (более 10 мг/л). Это нужно учитывать при проектировании и эксплуатации оборудования водоподготовки, чтобы защитить мембраны ОО от быстрого выхода из строя.

6.1.5 При проектировании системы УЧВ следует предусмотреть резервные мощности оборудования от 25 % до 100 % в зависимости от допустимости ее простоя. Если простой недопустим, оборудование должно быть резервировано таким образом, чтобы одновременная поломка даже двух установок не могла привести к простоям или потере производительности. Также должна быть предусмотрена возможность проведения сервисного обслуживания без потери производительности системы УЧВ.

6.1.6 В общем случае все оборудование, кроме емкостей, трубопроводов и аналитических приборов должно быть зарезервировано по формуле N+1, где N — число блоков однотипного оборудования, обеспечивающих проектную производительность. Аналитическое оборудование — счетчик частиц, анализаторы растворенных газов, кремнемер, измеритель ООУ — может не резервироваться. Двойному резервированию (2N) подлежит контроллер, управляющий системой УЧВ. Резервирование N+2 может потребоваться для оборудования с длительным циклом проведения технического обслуживания (УОО, фильтры). Более подробная информация о резервировании приведена в приложении И.

6.2 Проектирование системы получения подпиточной воды (СЧВ)

6.2.1 Предварительная очистка воды (получение ЧОВ)

6.2.1.1 Для надежности системы рекомендуется задействовать минимум два независимых источника исходной воды.

Химический состав воды из подключенных источников должен быть известен для каждого сезона. Для учета сезонных колебаний состава воды следует выбирать всесторонне изученный источник исходной воды, для которого известен состав воды с интервалом 1 неделя в течение года. Для нивелирования сезонных колебаний температуры исходная вода должна, как правило, подогреваться в теплообменнике в зимнее время, а в летнее, возможно, охлаждаться. Рекомендуется поддерживать температуру воды от 17 °С до 20 °С.

В случае использования муниципального водоснабжения, вода которого поступает из поверхностного водоисточника, следует обратить особое внимание на остаточное содержание хлораминов, галогенметанов и мочевины. При получении сверхчистой воды эти компоненты могут создать проблемы для снижения уровня ООУ до значений менее 5 мкг/л. Поэтому для их удаления следует предусматривать дополнительную сорбционную и/или окислительно-деструктивную очистку.

В случае использования поверхностной воды или воды из муниципального водопровода (если забор осуществляется из поверхностного источника) необходимо измерять остаточное содержание коагулянтов и флокулянтов (органических и неорганических).

6.2.1.2 Перед УОО следует предусмотреть контроль коллоидного индекса по ГОСТ Р 71172—2023 (приложение Г). Значение КИ не должно превышать 5, для стабильной работы УОО рекомендуемое значение КИ — не более 3.

6.2.1.3 Следует предусмотреть контроль ООУ на каждой стадии, где происходят процессы удаления органических веществ, фильтрации, сорбции на активированном угле, ОО. Измерения проводят лабораторным методом или онлайн.

6.2.1.4 Проектные решения, относящиеся к предварительной подготовке воды, должны быть направлены на обеспечение стабильной работы УОО, а также учитывать, что присутствующие в исходной воде низкомолекулярная органика, аммоний и бор могут транзитом проходить через УОО.

6.2.1.5 Следует предусматривать двухступенчатые УОО по пермеату, а в случае сложной исходной воды и трехступенчатые. В настоящем стандарте первая ступень ОО отнесена к стадии предварительной очистки, а вторая — к стадии основной очистки частично обессоленной воды (см. также 5.1.1.6).

6.2.2 Основная очистка воды (получение СЧВ)

6.2.2.1 Получение СЧВ — многоступенчатый процесс, основной задачей которого является удаление всех ионных примесей, бора и остаточной органики. Для этой цели используют УФ-излучение 185 нм, дегазацию, ионный обмен, электродеионизацию.

6.2.2.2 В качестве финишной очистки в системе получения подпиточной воды следует использовать одно-/двухступенчатую электродеионизацию или ионный обмен на смешанной смоле. Могут быть использованы и другие доступные технологии деионизации воды. Удельное электрическое сопротивление СЧВ должно быть не менее 18,1 МОм·см при температуре 25 °С, а остаточный общий органический углерод — не более 50 мкг/л. Как правило, типичное значение ООУ на этой стадии составляет от 5 до 10 мкг/л.

6.3 Проектирование этапа получения УЧВ

Наиболее важной функцией этапа получения УЧВ из СЧВ является удаление частиц и поддержание чистоты циркулирующей УЧВ. Участок получения УЧВ часто располагают отдельно от системы подпитки, в максимальной близости к помещениям потребителей УЧВ, чтобы сократить длину дорогостоящих трубопроводов высокой чистоты.

Как правило, участок получения УЧВ содержит следующее оборудование:

- УФ-лампы с длиной волны 185 нм (см. 5.1.2.2);
- теплообменное оборудование (см. 5.2.3);
- мембранную дегазацию (двухступенчатую) и/или систему гидрирования остаточного кислорода (см. 5.2.4);
- фильтры смешанного действия (см. 5.2.5, 6.3.1);
- многоступенчатые фильтры для удаления частиц (см. 5.2.6, 6.3.2).

6.3.1 Ионообменная смола

6.3.1.1 Выбор ИОС имеет решающее значение. Смола должна быть исследована на предмет выделения частиц (LNS) и прекурсоров частиц (NVR), эмиссии органических веществ — ООУ (TOC).

6.3.1.2 Проектная линейная скорость УЧВ через ФСД должна составлять не менее 50 м/ч. Снижение скорости приводит к росту уровня частиц в УЧВ.

6.3.1.3 При проектировании фильтров смешанного действия должны быть предусмотрены меры по удалению возможных пузырьков воздуха из толщи смолы.

6.3.2 Фильтры частиц

6.3.2.1 Как правило, используют несколько ступеней фильтров для улавливания частиц. Например, каскад ультрафильтров 50, 20 нм и нанофильтра 5 нм для высокотехнологичных производств или 0,45; 0,22 мкм, 50 нм для простых производств.

6.3.2.2 Для задержания частиц нанометровых размеров можно использовать ультрафильтры из полиэфирсульфона, керамики и других материалов, с проверенными характеристиками. В таблице 3 показаны типичные параметры керамических мембран.

Таблица 3 — Характеристики коммерчески доступных керамических мембран

Материал мембраны	Размер поры, нм	Отсечка по молекулярной массе, кДа	Пористость, %
Альфа-форма оксида алюминия	800 600 400 200 100 70	—	40—50
Оксид титана	30 10 5 1,0 0,9	100 20 8,5 0,75 0,45	30—55 30—40 30—40
Оксид циркония	3	2	30—55

6.4 Особые указания по проектированию участка получения УЧВ

Некоторые параметры невозможно или сложно контролировать на тех уровнях, которые требуются для высокотехнологичных процессов. Поэтому могут предусматриваться меры упреждающего контроля в точках 1—5 (см. рисунки 3, 4). Рекомендуется выполнять нижеприведенный контроль:

6.4.1 Содержание частиц в воде, подаваемой на фильтры финишной очистки УЧВ. Целевой уровень определен в разделе 4.

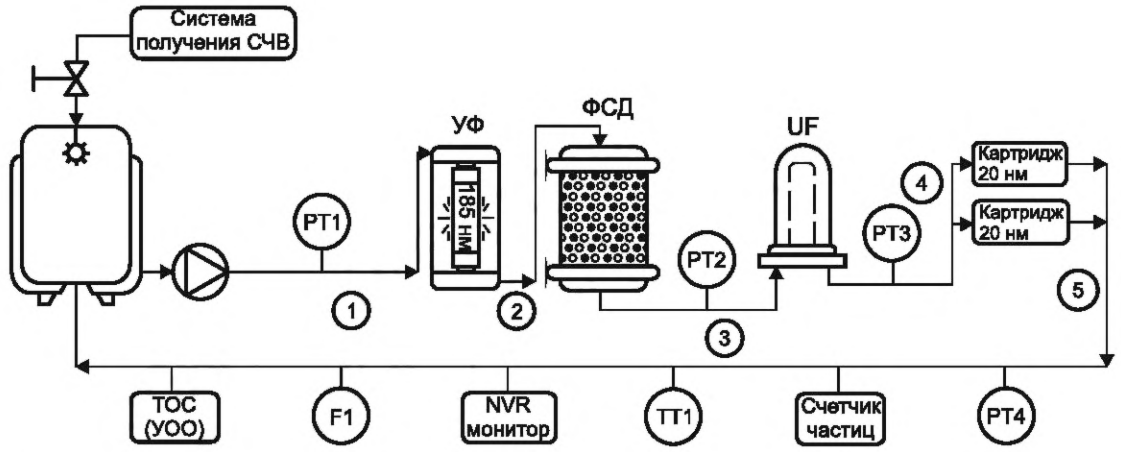
6.4.2 Содержание диоксида кремния в СЧВ, целесообразность такого контроля определяется в зависимости от видов производства. Целевой уровень определен в разделе 4.

6.4.3 Содержание металлов в СЧВ, целесообразность такого контроля определяется в зависимости от видов производства и рекомендуется для предприятий, выпускающих датчики изображения. Целевой уровень определен в разделе 4.

6.4.4 Содержание частиц в точках потребления УЧВ. Размер частицы критического размера зависит от размера узла и наилучшей доступной метрологии.

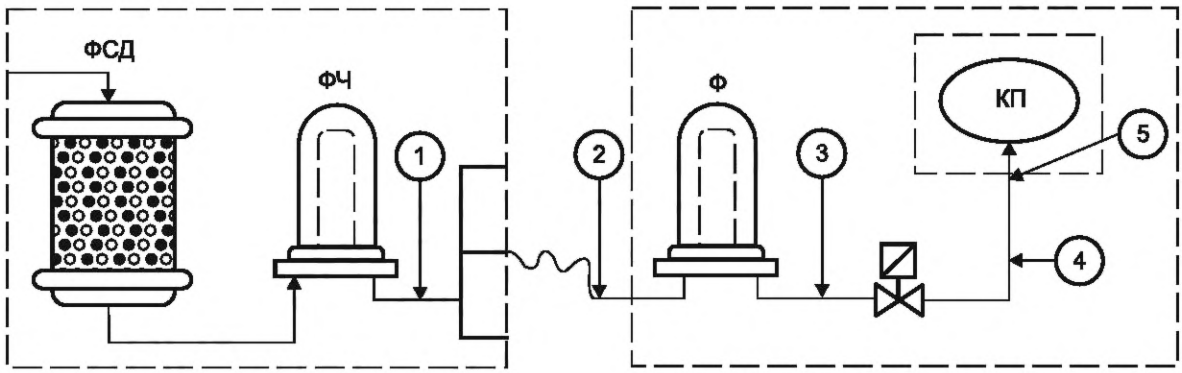
6.4.5 Особого внимания требует контроль предшественников частиц (см. 4.2.7). Материалы (например, ИОС, фильтры, компоненты системы распределения), используемые на участке получения УЧВ, могут выделять высокомолекулярные соединения. Эти высокомолекулярные загрязняющие вещества могут оставить частицы/остатки на изделии. Однако ожидается, что традиционные способы контроля NVR, ООУ и ионных соединений позволят решить проблему контроля высокомолекулярных загрязнений. Для высокочувствительного технологического оборудования процесс очистки должен быть оптимизирован так, чтобы свести влияние предшественников частиц к минимуму.

6.4.6 Следует обеспечить надежность работы системы финишной очистки. Это особенно важно, поскольку ее остановка может привести к значительным нарушениям в работе производства в целом. Надежности способствуют бесперебойное электропитание, резервирование оборудования, эффективное техническое обслуживание.



РТ1—РТ4 — датчики давления; ТТ1 — термометр; ФСД — фильтр смешанного действия; UF — ультрафильтр; УФ — ультрафиолетовая лампа; 1, 2, 3, 4, 5 — места, в которых может быть предусмотрен отбор проб

Рисунок 3 — Точки 1—5 для реализации упреждающего контроля на участке получения и распределения УЧВ



а) Участок получения УЧВ б) Технологическое оборудование

ФСД — фильтр смешанного действия; ФЧ — фильтр частиц; Ф — фильтр в составе технологического оборудования; КП — кремниевая пластина; 1, 2, 3, 4, 5 — рекомендуемые точки отбора проб

Рисунок 4 — Точки 1—5 для измерения качества воды в контуре распределения УЧВ и технологическом оборудовании

6.5 Требования к проектным решениям системы распределения УЧВ

6.5.1 При проектировании системы распределения решения должны быть направлены:
- на поддержание давления в оборудовании, на которое подается УЧВ;
- на обеспечение неизменного качества УЧВ;
- на поддержание качества УЧВ по всей системе (включая возврат УЧВ);
- на целостность и надежность системы.

6.5.2 При проектировании трубопроводов УЧВ стабильность потока и давления является главным требованием. Это требование связано с работой фильтров смешанного действия и фильтров частиц, которые показывают более стабильные результаты при относительно стабильном потоке. Для соблюдения этого требования объем возврата воды должен быть достаточным, чтобы изменение расхода, связанное с отключением и подключением потребителей, некритичным образом сказывалось на скорости потока в подающем трубопроводе.

6.5.3 Скорость потока в магистральных трубопроводах не должна превышать 3 м/с. Хотя ответвления на технологическое оборудование допускают и более высокую скорость, как правило, критерии

максимальной скорости потока должны быть ограничены 2,5 м/с, чтобы обеспечить дополнительную гибкость для пропускной способности системы распределения.

6.5.4 Застойные зоны должны быть максимально исключены. Для обеспечения промывки тупиков (подчиняющихся правилу 3D) в основном трубопроводе следует обеспечить турбулентный режим с числом Рейнольдса не менее 4000. Более низкие значения числа Рейнольдса, вплоть до ламинарного потока, допустимы для участков без застойных зон.

6.5.5 При проектировании конфигурации петель и подпетель системы распределения прежде всего следует определиться, каким образом будет организован возврат УЧВ в емкость. Примеры вариантов возврата представлены на рисунке 5.

6.5.5.1 Первый вариант возврата, так называемый прямой возврат, состоит в симметричном расположении магистрального трубопровода подачи и возврата, обычно с уменьшением диаметров по мере уменьшения суммарного потока. Трубопроводы подачи и возврата идут параллельно друг другу, и первое ответвление от подающего трубопровода является последним ответвлением возвратного. Схема прямого возврата показана на рисунке 5а). При такой конфигурации давление в каждой точке потребления зависит от потерь давления на других участках и поэтому зависит от числа одновременно работающих точек потребления. Если разница в давлении относительно неважна или изменяется незначительно, это оправдывает использование такой конфигурации. Прямой возврат требует для ответвлений на оборудование дополнительных мер для управления потоком (расходомеры, клапаны, датчики давления и т. д.), а также дополнительных эксплуатационных расходов на периодическую тонкую настройку потоков.

6.5.5.2 Второй вариант возврата, так называемый обратный возврат, разворачивает линию возврата, диаметры подводящих и отводящих трубопроводов «перевернуты» относительно друг друга (наибольший диаметр подводящего трубопровода находится рядом с наименьшим диаметром соответствующего отводящего участка), т. е. первое ответвление от подающего трубопровода является первым ответвлением возвратного. Схема обратного возврата показана на рисунке 5б). Для организации такой схемы может потребоваться третья магистральная труба для возврата собранной УЧВ. Эта схема предпочтительнее там, где требуется стабильное давление в точках потребления, т. к. оно практически не зависит от числа одновременно работающих точек потребления. Такая схема возврата позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты на управление потоками.

6.5.5.3 Третий вариант состоит в обходе всех точек потребления воды основным трубопроводом. Такая конфигурация применима для небольших систем протяженностью, ориентировочно, не более 200 м и диаметрами не более 63 мм. Конфигурации показана на рисунке 5в.

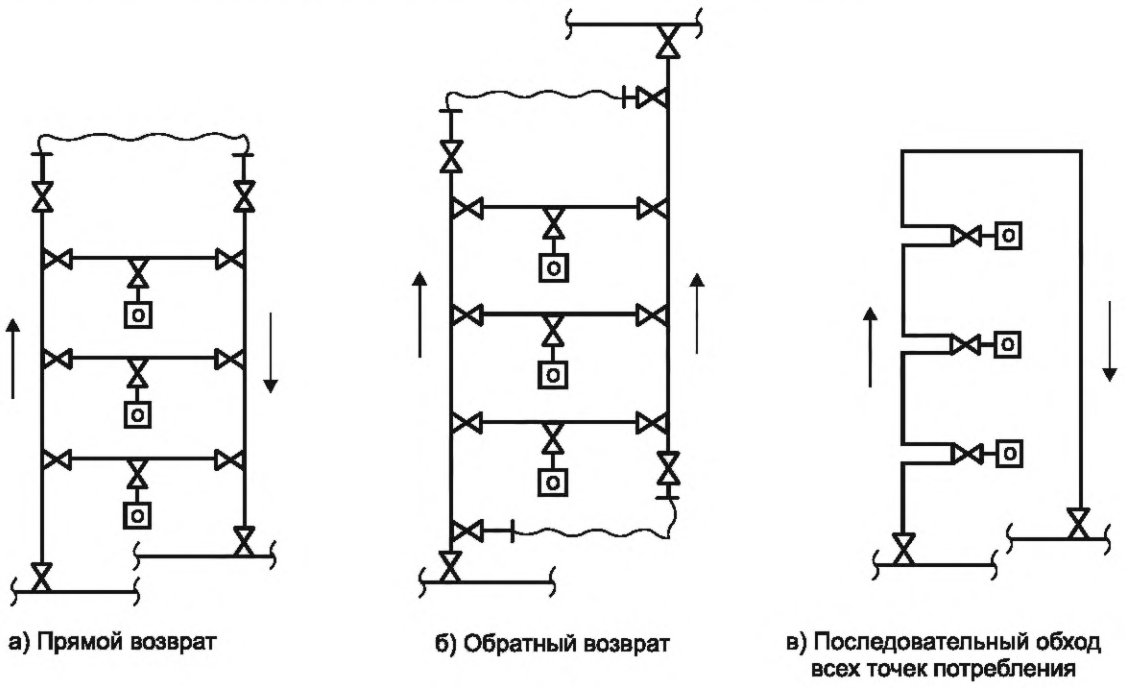


Рисунок 5 — Способы организации потоков УЧВ в системе распределения

6.5.6 Контроль давления УЧВ в распределительной системе должен осуществляться по датчикам давления. Использовать для этой цели манометры не рекомендуется.

6.5.7 Емкость УЧВ должна быть герметична и не допускать попадания атмосферного воздуха внутрь емкости. Для предотвращения разрушения емкости при заполнении и опорожнении следует обеспечить подачу чистого азота и поддерживать заданный уровень давления азота в емкости.

6.5.8 Система распределения УЧВ может иметь один или несколько контуров. Циркуляцию УЧВ организуют следующим образом: из емкости хранения через участок финишной очистки до производственных участков и обратно в емкость.

6.5.9 Возможность потенциального расширения системы получения и распределения УЧВ должна быть определена на этапе проектирования. Рекомендуется предусматривать не менее 10 % резерва (но не менее одной точки).

6.6 Проектирование участка горячей УЧВ (ГУЧВ)

При проектировании участка ГУЧВ следует учитывать нижеприведенные требования:

6.6.1 Температура ГУЧВ должна находиться в пределах от 60 °С до 70 °С.

6.6.2 Нагрев УЧВ осуществляется в теплообменных аппаратах, выполненных из пластика, титана или стали, конструкция которых должна исключать риск загрязнения УЧВ теплоносителем.

6.6.3 В контуре циркуляции необходимо предусмотреть фильтры, улавливающие частицы согласно спецификации производства.

6.6.4 Следует учитывать высокий коэффициент линейного расширения трубопроводов из ПВДФ (от 0,12 до 0,18 мм/м·°С).

6.6.5 Для трубопроводов ГУЧВ рекомендуется предусматривать непрерывные опоры из лотка или швеллера. Опоры должны обеспечивать свободное перемещение трубы. При отсутствии непрерывных опор все разъемные соединения должны иметь опору вблизи мест соединения.

6.6.6 Виброизоляция и деформационные петли должны быть определены проектным решением, учитывающим физические свойства материала трубопровода и конкретные условия эксплуатации.

6.6.7 Трубопроводы необходимо теплоизолировать. Следует использовать негигроскопичную изоляцию, которая покрывается, например, жестким листовым ПВХ — материалом с низким содержанием летучих органических соединений, не содержащим волокон, не выделяющим твердые частицы и не содержащим формальдегида. Изоляция должна иметь антимикробную защиту, которая препятствует росту плесени и грибка в изоляции, предотвращает отвод влаги и устраняет необходимость в дополнительном барьере для водяных паров.

6.7 Требования к материалам и арматуре

6.7.1 Особое внимание при проектировании системы распределения следует уделить выбору материала трубопроводов, тепловому расширению трубопроводов, опорам трубопроводов, схеме регулирования давления, критерию проточности, критерию застойных зон и конфигурации байпасов.

6.7.2 Рекомендуемые материалы трубопроводов для системы финишной очистки и распределения УЧВ:

- высокочистый [ВЧ ПВДФ (HP PVDF)] — поливинилиденфторид или фторопласт-2;
- ВЧ ПФА (HP PFA) — перфторалкоксидные полимеры;
- электрополированная (*Ra* — 0,25 мкм) нержавеющая сталь 316L;
- ПТФЭ (PTFE) — политетрафторэтиле́н, или фторопла́ст-4;
- фторкаучуки ФК (FKM, FPM), витон (Viton) — синтетические каучуки фторированные.

6.7.3 Полипропилен (ПП) может использоваться на участке получения СЧВ.

6.7.4 Для возвратного трубопровода УЧВ, а также на начальных этапах финишной очистки можно использовать стандартный ПВДФ или высококачественный ПП.

6.7.5 Материалы, которые могут использоваться в следующих изделиях:

- ВЧ ПВДФ: корпуса фильтров (ультрафильтры и/или картриджные фильтры), клапаны для подачи воды, трубы, трубки, фасонные элементы;
- ВЧ ПТФЭ: уплотнители и прокладки в корпусах фильтров (ультрафильтрах и/или картриджных фильтрах), клапанах ВЧ для подачи воды, трубах, трубках, фасонных элементах;
- ВЧ ПФА: корпуса фильтров (ультрафильтры и/или картриджные фильтры), клапаны ВЧ, дроссельные клапаны с футеровкой ВЧ, мембранные клапаны ВЧ, игольчатые (порты для проб) и шаровые краны, трубы, трубки, фасонные элементы;

- ПП, который может использоваться для корпусов фильтров и емкостей УЧВ;
- ФК: прокладки в клапанах, прокладки и уплотнения для соединения трубопроводов.

6.7.6 Варианты применения эластомеров представлены в таблице 4.

Таблица 4 — Места допустимого использования эластомеров в СВП

Наименование эластомера / Наименование среды	Нитриловая резина	Неопреновая резина	Резина EPDM	Фторэластомер FKM/FPM (Vitron®)	Силикон	Прозрачный силикон (медицинский Silastic Clear)	Перфторэластомер (FFKM Kalrez®)	Перфторуглерод PFA/PTFE/ETFE/ECTFE (такие, какTeflon®, GORE®, Halar®)	Эластомер (Chemraz®)
Система предварительной очистки	А	А	Р	А	А	А	А	А	А
Получение СЧВ	НП	НП	А	Р	А	А	А	А	А
Получение и распределение УЧВ	НП	НП	НП	А	А	Р	А	Р	А
Озонированный УЧВ	НП	НП	НП	НП	А	НП	А	Р	А
ГУЧВ	НП	НП	А	НП	НП	Р	НП	Р	НП
Кислота (HCl)	НП	НП	НП	Р	НП	НП	НП	Р	Р
Щелочь	НП	НП	А	НП	НП	НП	НП	А	Р

Примечание — ECTFE (ethylene-chlorotrifluoroethylene) — этилен-хлортрифтороэтилен. ETFE (ethylene-tetrafluoroethylene) — этилен-тетрафтороэтилен.

НП — неприемлемо; А — приемлемо; Р — рекомендуется.

PTFE, ETFE, ECTFE и т. д. должны использоваться только в модифицированном варианте, нанесенными на эластичную подложку.

6.7.7 Применение нержавеющей стали на участке получения УЧВ

Сталь сертифицированных марок: 316L, AISI316, 316Ti, 03Х17Н14М3, 08Х17Н13М2, 12Х18Н10Т, 10Х14Г14Н4Т, Х14Г14Н3Т (а также более стойкая к коррозии), должна быть пассивированной и электрополированной до чистоты поверхности *Ra* 0,25 мкм (см. таблицу 5). Ее можно использовать для корпуса УФ-излучателей, больших коллекторов насосов, корпуса и рабочего колеса насосов, клапанов регулирования давления, обратных клапанов, клапанов для отбора проб, вакуумного дегазатора и корпусов фильтров. Однако использование трубопроводов и компонентов из нержавеющей стали должно быть сведено к минимуму, особенно после фильтров смешанного действия.

Таблица 5 — Требования к стали по сортам продукции

Характеристика	Класс общего назначения, GR	Высокая степень чистоты, HP	Ультравысокая степень чистоты, UHP
Шероховатость поверхности	≤0,50 мкм $Ra_{ср}$ ≤0,62 мкм $Ra_{макс}$ ≤3,75 мкм $Ry_{макс}$	≤0,25 мкм $Ra_{ср}$ ≤0,38 мкм $Ra_{макс}$ ≤3,75 мкм $Ry_{макс}$	≤0,13 мкм $Ra_{ср}$ ≤0,25 мкм $Ra_{макс}$ ≤250 мкм $Ry_{макс}$

Ra — среднее значение шероховатости профиля поверхности.

Ry — максимальная высота шероховатости профиля поверхности от пика до долины.

$Ra_{ср}$ — среднее значение *Ra* из набора измерений шероховатости поверхности.

$Ra_{макс}$ — максимальное значение *Ra* из набора измерений шероховатости поверхности.

$Ry_{макс}$ — максимальное значение *Ry* из набора измерений шероховатости поверхности.

6.7.8 Запорная арматура и ЗРА должны быть изготовлены из материалов с применением уплотнений согласно требованиям 6.7. Для точек отбора требуется использовать арматуру с нулевой застойной зоной (т-образная арматура).

6.7.9 Требования к составу полимерных материалов, соприкасающихся с УЧВ, приведены в приложении К.

6.8 Вспомогательные системы

Для функционирования системы водоподготовки УЧВ необходимы ресурсы — электроснабжение, теплоносители, газы, различные химические реагенты. В настоящем подразделе рассмотрен минимальный их перечень и определено качество самых критичных из них.

Таблица 6 — Технологические среды и электроэнергия

Ресурс	Указания по потребному расходу	Требования к качеству и обеспечению	Примечание
Электроэнергия	По максимальной мощности включенного в сеть оборудования с учетом пуска насосных агрегатов	Обеспечение работы оборудования, одновременно находящегося в работе, стабильным питанием	Рекомендуется два независимых источника питания
Азот	Для работы мембранной дегазации и создания инертной атмосферы азота в емкости УЧВ	Чистота не ниже 99,995 %	—
Горячая вода/пар	Для поддержания температуры воды в заданном интервале	Вода: (65 ± 5) °С Пар: (121 ± 10) °С	—
Холодная вода/ теплоноситель	Для поддержания температуры воды в заданном интервале; для охлаждения насосов	От 3 °С до 5 °С или от 15 °С до 20 °С	—
Химикаты для очистки оборудования водоподготовки	Кислотные/щелочные промывки согласно руководству производителя оборудования	Согласно указаниям производителя оборудования	—
Реагенты для регенерации ионитов	Кислоты (соляная) Гидроксид натрия	Классификация «химически чистые, х.ч.»	—
Пероксид водорода	Для санитарных обработок оборудования	Классификация «особо чистые, о.ч.»	—
Водород	Для глубокого, менее 5 мкг/л, удаления кислорода из УЧВ	Рекомендуется использовать водород, полученный путем электролиза воды	—
Озон	Для санитаризации системы получения и распределения УЧВ, а также с целью снижения ООУ	Используется в момент получения. Генерируется из воды в системе получения УЧВ или из кислорода воздуха в системе получения СЧВ	Удаляется УФ-излучением и/или на модифицированном палладием анионите в присутствии водорода
Сжатый воздух	Для обеспечения работы приводов арматуры и другого оборудования	Содержание согласно требованиям производителей приводов и другого оборудования	Содержание масел согласно требованиям производителей приводов и другого оборудования

7 Монтаж системы УЧВ

В настоящем разделе приведены требования к подготовке материалов и процессу монтажа участка получения и распределения УЧВ. Техника монтажа должна быть направлена на обеспечение максимальной защиты внутренней поверхности оборудования, труб и фитингов от загрязнения.

7.1 Производитель или поставщик материалов для УЧВ должен быть в состоянии подтвердить, что все материалы являются высокочистыми. Производитель должен быть в состоянии продемонстрировать, что все материалы (изготовленная продукция и сырье) периодически проходят испытания с использованием методик тестирования, демонстрирующих чистоту материала.

7.2 Материалы для фильтров финишной очистки

7.2.1 Поскольку эти материалы являются финальными в очистке, они не должны вносить загрязнения в систему. Материалы, которые используются в фильтрах финишной очистки, должны проходить испытания, подтверждающие их чистоту. Такие испытания может проводить как эксплуатирующая организация, так и изготовитель или поставщик материалов. Требования к чистоте материалов устанавливаются отдельным стандартом или собственными документами производителя/поставщика или эксплуатирующей организации.

7.2.2 Для корпусов финишных фильтров и самих фильтроэлементов обычно используют следующие материалы: нейлон, ПП, ПВДФ, полисульфон и керамику. Фильтрующие элементы (картриджи) должны устанавливаться только тогда, когда участок готов к началу испытаний.

7.3 Требования к трубопроводам и арматуре

7.3.1 Основным материалом трубопроводов для участка финишной очистки и распределения УЧВ должен быть ВЧ ПВДФ.

7.3.2 Трубы из ВЧ ПВДФ и ВЧ ПФА должны поставляться в двойной упаковке. На внешнем пакете должна быть маркировка «ВЧ ПВДФ» («HP PVDF») или аналогичная, а на трубе — номер партии и номер детали, нанесенные неуничтожимым способом. Концы трубы должны иметь защитные колпачки. Оба пакета должны быть целыми, когда продукт намериваются использовать. Допускается иной способ упаковки, позволяющий обеспечить чистоту трубы, например упаковка труб в тубус.

7.3.3 На участке перед финишной очисткой и на участке возврата УЧВ в емкость хранения допускается использовать ВЧ ПП или обычный ПВДФ (не высокочистый). Однако обращаться с материалами этих участков следует по тем же правилам, что и для материалов основного контура, за исключением того, что материалы не будут упакованы в двойную упаковку.

7.3.4 Все материалы высокой чистоты (ВЧ) должны быть очищены на заводе — изготовителе материалов или изготовлены в чистом помещении (чистой зоне) класса не ниже 7 ИСО в оснащенном состоянии, пороговый размер частиц — 0,5 мкм. Если применяется очистка, то она должна быть завершена с использованием СЧВ с удельным сопротивлением не менее 12 МОм·см, ООУ <50 мкг/л и общим содержанием ионов <100 мкг/л.

7.3.5 Прокладки, уплотняющие разъемные соединения и арматуру, не должны вносить частицы во время работы участка.

7.3.6 Все материалы и комплектующие ВЧ должны поставляться производителем в двойной упаковке с маркировкой, подтверждающей, что они пригодны для работы в высокочистой среде. Упаковка должна быть изготовлена из специального чистого материала и не должна загрязнять продукт.

7.3.7 Все клапаны системы распределения должны поставляться в двойной упаковке и иметь маркировку «ВЧ», «HP» или аналогичную. Все части клапанов, соприкасающиеся с УЧВ, должны быть выполнены из материалов, перечисленных в 6.7. Клапаны должны быть проверены производителем на герметичность и не должны содержать смазки или смазочных материалов. Любой отводящий клапан должен быть снабжен съемной заглушкой.

7.4 Соединительные элементы

7.4.1 Для фланцевых соединений следует использовать соразмерную прокладку, чтобы гарантировать, что в месте соединения не будет ни препятствий для потока, ни щелей. Опорное кольцо фланца должно иметь специальную форму, чтобы направлять усилие при затягивании соединения на внутренний диаметр соединения. Это гарантирует, что приложенные усилия будут закрывать зазор в соединении, а не открывать его при затягивании. Трубы должны быть выровнены в пределах допуска 3 мм во всех направлениях. Соединение нельзя использовать для компенсации несоосности.

7.4.2 Для уплотнения соединений и поверхностей, например в мембранных кранах, рекомендуется использовать прокладки из фторкаучука, покрытого ПТФЭ ВЧ. Прокладки должны быть чистыми и не выделять частицы и остаточную органику. При сжатии прокладка должна обеспечивать герметичность. Прокладки должны быть сконструированы таким образом, чтобы усилие для уплотнения не превышало прочность материалов. Использование любого несжимаемого материала не рекомендуется, так как может приводить к протечкам.

7.4.3 Перфторсодержащие полимеры (PFA, PTFE, ECTFE и ETFE) могут использоваться в качестве верхнего слоя, покрывающего эластомер, или для футеровки в таких элементах, как емкости, насосы, клапаны и т. д. У прокладок, представляющих собой двухкомпонентную систему из инертного материала, нанесенного на упругий эластомер, не должно быть контакта эластомера с жидкостью. В качестве эластомеров могут быть использованы FPM, EPDM, витон, силикон.

7.4.4 Для соединений трубок ПФА следует использовать технологию компрессионных фитингов. Все трубки должны быть обрезаны труборезом и иметь окружность в сечении.

7.4.5 Разъемные соединения трубопроводов должны быть выполнены с помощью разъемных фитингов марки «ВЧ», их размер не должен превышать DN50. В качестве разъемных соединений для диаметров, бóльших DN50, рекомендуется использовать фланцы. Они должны иметь уплотнительное кольцо класса «ВЧ». Для разъемных соединений очень важно обеспечивать соосность. Половины соединения должны быть комплементарными по отношению друг к другу и не должны отклоняться от соосности более чем на 3 мм. Не следует затягивать накидные гайки слишком сильно, так как они склонны к разрушению.

7.5 Организация работ с материалами

7.5.1 Окружающая среда

Сборка узлов и изготовление оборудования, являющегося частью системы финишной очистки и распределения УЧВ, должна проводиться в чистом помещении или, по крайней мере, в чистой среде. Рекомендуемый класс чистоты 7 ИСО, оснащенное состояние, пороговый размер частиц 0,5 мкм. Не допускается проведение механической обработки металлов в чистой зоне (шлифовка, сварка) или окраска. Следует носить специальную одежду и обувь для чистых помещений заданного класса чистоты. Все материалы в чистом помещении должны храниться в чистых контейнерах с крышками.

7.5.2 Приемка и контроль

Упаковка всех фитингов, труб и трубок из ПВДФ и ПФА должна быть проверена при поставке. Как внешний, так и внутренний пакеты должны быть целыми, без разрывов и отверстий. Необходимо подтвердить наличие надлежащей маркировки. После проверки все материалы нужно поместить в чистые контейнеры или емкости, которые должны защищать их от загрязнений. Поврежденные или вызывающие сомнения предметы должны быть изолированы или размещены в отдельном месте за пределами чистого помещения до принятия необходимых мер.

7.5.3 Порядок распаковывания и вноса материалов в чистую зону

7.5.3.1 Для предотвращения попаданий загрязнений в чистое помещение оборудование следует распаковывать поэтапно. Перед передачей детали в чистую зону внешний пакет следует протереть салфеткой для чистых помещений, смоченной деионизованной водой (с добавлением моющего средства, при необходимости). После очистки внешнего пакета деталь следует извлечь из пакета в шлюзе чистой зоны, а внутренний пакет протереть салфеткой для чистых помещений, содержащей не менее 10 % изопропанола. После этого деталь можно перенести в чистую зону.

7.5.3.2 В чистой зоне следует снять внутренний пакет, но только непосредственно перед использованием. Распаковывать нужно только те детали, которые могут понадобиться в этот день. Если требуется неполный кусок трубы, нужно снять с трубы пакет, но сохранить торцевую крышку. Отрезав нужную длину, следует закрыть срезы крышками и положить трубу на стеллаж или в иное предусмотренное место хранения.

7.5.4 Обработка и сборка узлов и материалов

7.5.4.1 В процессе работы в чистом помещении подготовленные детали и узлы нужно закрывать крышками и упаковывать с торцов с помощью чистой полиэтиленовой пленки или пакета и клейкой ленты, одобренной для использования в чистых помещениях. Только после этого узел можно переместить из чистого помещения в место для безопасного хранения или передать в зону монтажа.

7.5.4.2 Необходимо соблюдать осторожность при транспортировании и обращении, так как могут возникнуть непредвиденные нагрузки на упаковочный материал.

7.5.5 Обращение с материалами, сварка ПВДФ или ПФА

7.5.5.1 Сварка пластика должна выполняться либо инфракрасным (ИК) методом встык, либо бесконтактным термическим плавлением с контролем позиционирования. Условия сварки должны быть документально оформлены для дальнейшего использования и должны включать материал, размер, дату, температуру, время сварки и параметры сварки.

7.5.5.2 Для сварки должны использоваться только аппараты, одобренные/рекомендованные производителем материала или монтажной организацией. Для сварки трубопроводов и фитингов из ВЧ ПВДФ допускается использовать только аппараты для бесконтактной стыковой ИК-сварки. Аппараты с пластинчатым нагревателем, контактирующие с деталью, не допускаются. Для очистки концов соединяемых элементов перед сваркой следует использовать только рекомендованные поставщиком чистые салфетки. В настройках сварочного аппарата должна быть предусмотрена возможность задавать тип материала, размер, толщину стенки и тип детали (фитинг или труба). Конструкция сварочного аппарата должна предусматривать возможность измерения температуры окружающей среды и последующей компенсации процесса сварки. Оператор сварки вносит данные материала и размеры трубы в сварочный аппарат. После того как эти данные введены, в аппарате автоматически рассчитывается время сварки и остывания. По завершению сварки сварочный аппарат должен иметь возможность зафиксировать, что сварной шов соответствует заданным условиям, и распечатать этикетку, содержащую информацию о калибровке, операторе, сварочном аппарате, материале, качестве сварки, а также дату и время выполнения каждого шва. Аппарат должен во время любого этапа сварки отбраковывать каждый шов, который не соответствует требованиям, например: на этапе обрезки торцевой поверхности и выравнивании, при неправильном времени нагрева или остывания, при смещении стенок, при неправильном усилии смыкания и т. д.

Эти данные также должны быть сохранены во внутренней памяти аппарата, к которой можно будет обратиться позже. В случае успешной сварки на только что выполненный шов следует нанести маркировку сварного шва, позволяющую идентифицировать шов.

7.5.5.3 Производитель сварочного аппарата или производитель материалов должен дать четкие указания по визуальному контролю каждого сварного шва по завершении сварки. Критерии должны включать форму сварного шва, наличие инородных материалов в шве, однородность шва по всей длине, смещение трубы, плоскостность трубы в месте сварки и т. д. Каждый сварной шов должен быть проверен специалистом, выполняющим сварку, и специалистом по контролю качества. В конце проекта каждый сварной шов должен быть промаркирован.

7.5.5.4 Оператор должен пройти соответствующее обучение. Оператор должен нести персональную ответственность за качество сварного шва, контролируя его приемлемость визуально в соответствии с разработанными критериями качества шва.

8 Ввод в эксплуатацию и аттестация системы УЧВ

8.1 Подготовка и ввод в эксплуатацию

8.1.1 На этапе проектирования должна быть определена и затем выполнена стратегия запуска — вся система сразу или поэтапно. Выбор может зависеть от графика проекта и других факторов. Решение может повлиять на конфигурацию и дизайн системы.

8.1.2 При загрузке зернистых засыпок в фильтры следует задокументировать количество засыпки каждого вида, ее тип и дату загрузки. Установка мембран в корпуса должна сопровождаться заполнением карты установки мембранных элементов с указанием типа, серийных номеров каждого элемента и их взаимного расположения.

8.1.3 Подготовка к вводу в эксплуатацию участка получения УЧВ заключается в промывке участка получения и системы распределения. Новый полимерный материал требует много недель для отмывки, чтобы соответствовать строгим требованиям качества УЧВ (отмывка может продолжаться до 8 нед). Если график проекта ограничен по времени, рекомендуется установить систему распределения как можно раньше и использовать небольшой внешний источник УЧВ для отмывки участка финишной очистки и системы распределения, например во время аттестации участка получения подпиточной воды.

8.1.4 Для эффективной борьбы с микрофлорой и быстрого ввода в эксплуатацию рекомендуется перед началом отмывки провести санитарную обработку системы УЧВ. Для санитарной обработки контура распределения обычно используется озонирование, а для санитарной обработки ответвлений

на технологическое оборудование можно использовать перекись водорода. При проектировании необходимо учитывать совместимость оборудования и материалов с санитарными агентами, а также точки ввода дезинфектантов. Несовместимые материалы или непрерывная работа устройства могут потребовать использования байпасов.

8.1.5 После ввода в эксплуатацию СВП необходимо документально зафиксировать начальные параметры работы СВП. Это позволит в процессе эксплуатации в случае отклонений от заданных спецификаций легче находить их причины. Должны быть зафиксированы следующие начальные значения параметров: ионный состав исходной воды, электропроводность, pH, содержание свободного хлора, ООУ (или химическое потребление кислорода), а также значения этих параметров после каждой ступени водоподготовки, если она влияет на эти параметры.

8.2 Риски на этапе подготовки системы к вводу в эксплуатацию

8.2.1 ИОС может выделять загрязнения, если качество смолы не подтверждено согласно приложению Б.

8.2.2 Загрязнение материала трубопровода может быть изначально уменьшено, если материал ВЧ выбирается в соответствии с требованиями приложения К.

8.2.3 Даже для материалов ВЧ следует ожидать повышенного загрязнения фтором, ООУ, металлами и микрофлорой в течение первых недель отмывки.

8.2.4 При разработке последовательности пуска и ввода в эксплуатацию следует принимать меры по защите финишных фильтров или иметь в запасе новые картриджи. Загрязнение фильтра после пуска может быть высоким, что может привести к преждевременному исчерпанию его ресурса. Рекомендуется использовать так называемые жертвенные патронные фильтры — когда в систему включают патронные фильтры перед ультрафильтрами или в качестве финишных фильтров для устранения первоначального послестроительного загрязнения.

8.3 Отбор проб

8.3.1 Объем аналитической работы, связанной с отбором проб, определяется требованиями к качеству воды и конкретными требованиями проекта к вводу системы в эксплуатацию.

При определении требований к вводу в эксплуатацию необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- использование онлайн-анализа или ручного отбора проб (зависит от измеряемой характеристики качества воды и доступного аналитического оборудования);
- продолжительность финального этапа ввода системы в эксплуатацию (обычно 30 дней эксплуатации системы, работающей в соответствии с требованиями);
- места отбора проб и количество проб, которые должны быть взяты во время финального этапа ввода в эксплуатацию;
- использование дублированного отбора проб для исключения неверных результатов анализа из-за ошибок отбора;
- аналитические приборы, которые будут использоваться;
- сертифицированные лаборатории для получения аналитических результатов в режиме офлайн.

8.3.2 Рекомендуется начать систематический отбор проб (аттестационные испытания) после того, как система будет промыта до заданного удельного сопротивления и содержания ООУ. Прежде чем приступить к программе окончательных испытаний на соответствие, рекомендуется провести предварительные испытания по следующим параметрам:

- бактерии (если конструкция была загрязнена, может потребоваться санитарная обработка);
- бор и диоксид кремния (могут указывать на проблемы с ионным обменом из-за качества смолы);
- частицы и ТОС (могут указывать на вымывание загрязнений из финишной смолы, из заливочного клея в ультрафильтрах).

8.3.3 Во время аттестационных испытаний пробы обычно отбирают еженедельно из каждой точки пробоотбора в течение 4 нед для определения стабильности измеряемого качества воды. Для критических параметров рекомендуется отбирать в каждой точке отбора проб от двух до пяти образцов (так называемый дублированный отбор). Если качество воды стабильно, можно приступать к программе рутинного контроля. Программа рутинного контроля определяется во время аттестации.

По мере сбора данных о стабильности параметров во время рутинной эксплуатации СВП программа пробоотбора может корректироваться. Ежемесячный отбор проб из каждой точки пробоотбора и хотя бы из одной точки каждый день — типичная частота отбора проб для рутинного контроля.

8.3.4 Емкости для отбора проб должны быть предварительно подготовлены для проведения анализа, а отбор проб должен выполняться в соответствии с инструкциями, предоставленными аналитической лабораторией. Лаборатория, используемая для анализа, должна соответствовать требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025. Необходимо также учитывать следующие факторы: чистоту порта для отбора проб, загрязнение окружающей среды, материал конструкции порта для отбора пробы и т. д. При выборе порта для отбора проб следует учитывать его физическое расположение и рассматриваемое применение. Важно, чтобы специалист по отбору проб был обучен протоколу отбора проб.

8.4 Аттестация систем ультрачистой воды

8.4.1 Аттестации подлежат новые системы УЧВ, а также системы, в которые внесены изменения.

При аттестации системы УЧВ необходимо учитывать все нижеуказанное:

а) подготовку и начало работ по аттестации рекомендуется начинать на стадии проектирования системы. Чем раньше будут выявлены отклонения (несоответствия), тем меньших затрат потребует их устранение;

б) объем аттестации должен включать все стадии производства УЧВ:

1) участок предварительной очистки воды,

2) участок получения СЧВ,

3) участок получения и распределения УЧВ;

в) аттестация системы получения и распределения УЧВ должна подтвердить, что:

1) монтаж выполнен в соответствии с проектом и другой технической документацией,

2) функционирование системы получения и распределения УЧВ в установленных диапазонах устойчивое,

3) получение и распределение УЧВ надлежащего качества и количества, при функционировании системы в соответствии с внутренними техническими регламентами, стабильные;

г) даже в условиях отсутствия отклонений в работе участка получения УЧВ, новые или модифицированные компоненты (оборудование) участка могут оказывать негативное влияние на качество УЧВ (выделять растворенные ионы или частицы) в течение первых месяцев эксплуатации;

д) процесс аттестации должен быть документально оформлен (записи, протоколы, отчеты).

8.4.2 В программу аттестации могут входить испытания (и не только они), при которых проверяют:

- монтаж оборудования, трубопроводов и систем обслуживания на соответствие чертежам и спецификациям;
- соответствие комплектности частей, узлов, подсистем, деталей тем сведениям, которые приведены в технической документации; правильность их размещения в соответствии с монтажными, электрическими, принципиальными схемами (датчики, клапаны, фитинги, трубы и т. д.);
- возможность доступа к оборудованию, КИП и ЗРА, требующим регулярного взаимодействия и обслуживания, наличие необходимых площадок для обслуживания (если применимо);
- соединения и качество монтажа всей системы, отсутствие повреждений, ржавчины и грязи на оборудовании;
- наличие документации от поставщика по эксплуатации и техническому обслуживанию (в т. ч. паспортов);
- типы материалов оборудования и компонентов, контактирующих с УЧВ;
- доступность и достаточность вспомогательных инженерных систем, таких как системы электропитания, водоснабжения, канализации, сжатого воздуха, пара, газов и т. д.;
- применяемые уплотнения и смазочные материалы, возможность загрязнения ими УЧВ и подключенного оборудования;
- сварочную документацию;
- застойные зоны;
- маркировку оборудования, КИП, ЗРА, трубопроводов;
- типы опор трубопроводов и возможности для теплового расширения (особенно актуально для горячих систем распределения);
- наличие, доступность и достаточность точек потребления и точек отбора проб;
- документацию, подтверждающую проведение гидравлических/пневматических испытаний;

- выполнение работ по пассивации (если применимо);
- наличие резервного оборудования;
- наличие ЗИП;
- КИП;
- функционирование системы и ее составляющих в режимах рутинной эксплуатации (запуск и остановка, подготовка к работе, работа, промывка, регенерация, режим ожидания и т. д.);
- работу автоматизированной системы (защиты, блокировки, аварии, сигнализации);
- показатели температуры и стабильности температурного режима;
- стабильность скоростей потоков в системе получения и распределения УЧВ;
- определение контрольных точек, в которых должен проводиться контроль физических параметров СВП;
- определение критических параметров качества УЧВ, разработку программы контроля;
- определение точек отбора проб, периодичности отбора проб, методов контроля и критериев оценки;
- соответствие качества УЧВ спецификации (контроль и отбор проб);
- программу технического обслуживания, включая планы и графики проведения регламентных работ;
- наличие необходимых инструкций (руководств) для рутинной эксплуатации и обслуживания системы УЧВ;
- уровень знаний обслуживающего и эксплуатирующего персонала.

9 Эксплуатация и техническое обслуживание

9.1 Техническое обслуживание

Прежде всего необходимо определить объем работ по техническому обслуживанию (ТО) системы водоподготовки УЧВ, достаточный, чтобы обеспечить надежную эксплуатацию системы. При составлении программы ТО важно учесть все требования к ТО, установленные поставщиком оборудования.

Рекомендуется провести анализ рисков системы совместно с разработчиками системы, чтобы убедиться, что все возможные варианты отказов понятны и программа ТО достаточна для их предупреждения.

Периодический анализ зафиксированных отказов и сроков службы оборудования и комплектующих позволит грамотно корректировать программу ТО.

9.2 Программа технического обслуживания

9.2.1 Программа ТО должна включать в себя, как минимум, следующие этапы:

I) должны быть сформулированы и задокументированы требования к ТО оборудования. Документы по ТО оборудования должны включать:

1) марку оборудования, модель, поставщика комплектующих,
2) тип ТО (предупреждающее или корректирующее),
3) периодичность (ежемесячно, ежеквартально, ежегодно и т. д.),
4) расходные материалы (детали и комплектующие, фильтрующие элементы и т. д.),
5) быстроизнашивающиеся части (уплотнительные кольца, прокладки, трубки и т. д.),
6) время, достаточное для проведения работ,
7) цели ТО и ограничения;

II) должны быть подготовлены типовые рабочие инструкции по ТО СВП. Каждая инструкция должна охватывать:

1) требования и контроль их соблюдения при проведении опасных видов работ (например, с реактивами),
2) требования к средствам индивидуальной защиты при выполнении работ,
3) перечень инструментов и материалов, необходимых для работы,
4) требования к обучению и аттестации сотрудников для выполнения работы,
5) инструкции по отключению оборудования,
6) пошаговые инструкции на отдельные процедуры по обслуживанию,
7) инструкции по вводу в эксплуатацию и аттестации,
8) требования к очистке, утилизации всех образовавшихся отходов;

III) должно быть проведено обучение персонала, которое включает:

1) контроль знания и понимания предоставленной поставщиком документации по эксплуатации и ТО,

2) обучение навыкам работ по ТО на семинарах и практических занятиях,

3) обучение опытными инструкторами (инженерами/техниками/поставщиками) операторов и эксплуатирующего персонала задокументированным рабочим действиям,

4) обучение навыкам чтения конструкторской документации.

9.3 Предупреждающее и корректирующее техническое обслуживание

9.3.1 ТО системы УЧВ делится на две основные категории:

- предупреждающее (профилактическое) обслуживание;
- корректирующее ТО или обслуживание на основе фактического состояния.

9.3.2 Программа профилактического ТО базируется на ожидаемом отказе компонента. Как правило, при таком подходе учитывают только время наработки компонента. Оценка состояния оборудования перед проведением ТО не проводится, поскольку само измерение изношенности компонента может быть дороже, чем его ТО, либо поиск неисправности может или оказаться слишком сложным или привести к ущербу.

Примерами являются следующие мероприятия:

а) замена трубок;

б) замена картриджа фильтра дыхания;

в) замена картриджей микрофильтров в системе УЧВ;

г) замена кварцевых трубок на ультрафиолетовых лампах;

д) замена прокладок клапанов.

9.3.3 Программа корректирующего ТО базируется на выявленном ухудшении характеристик СВП. Как правило, одна или несколько характеристик системы ухудшаются до установленного предела, что вызывает необходимость проведения корректирующего ТО.

Примерами являются следующие мероприятия:

а) замена мембран ОО при падении качества пермеата;

б) замена смолы по результатам отбора проб загрузки и измерения целостности гранул смолы или на основании проскока ионов;

в) замена УФ-ламп при потере интенсивности излучения или при изменении качества воды (ТОС, озон, остаточный хлор и т. д.);

г) замена засыпок и картриджей фильтров при критическом значении перепада давления на них.

9.3.4 В системе УЧВ используются различные сменные фильтры, причем наиболее важные из них — фильтры финишной очистки от частиц. Периодичность их замены должна быть определена согласно упреждающему контролю, который состоит в профилактическом обслуживании. Должна быть выяснена связь между временем работы фильтра, накоплением им частиц и качеством УЧВ или выпускаемой продукции.

9.3.5 На предприятии по производству УЧВ должна быть разработана стратегия обеспечения критически важными запасными частями. Хранение запасных частей на складе должно поддерживаться в строго определенных количествах. Необходимость и объем хранения запасных частей на предприятии должны определяться:

- частотой замены (отказа) оборудования или комплектующих;
- временем, в течение которого система резервирования позволяет работать с отказавшим компонентом;
- сроком поставки запасных частей и/или их доступностью.

9.4 Система документации по эксплуатации и техническому обслуживанию

9.4.1 Рекомендуется проводить следующие регулярные проверки и анализ их результатов, чтобы получать необходимую информацию о работе СВП:

- еженедельный контроль (позволяет отслеживать ключевые события, произошедшие за неделю, и вовремя принимать необходимые меры);
- ежемесячный контроль (позволяет оценивать параметры и события, связанные с потреблением ресурсов, частотой отказов, аварийными сигналами, инцидентами; позволяет проверять соблюдение графика ТО и выполнять корректирующие действия);

- ежегодный контроль (позволяет подвести итог работ по контролю и ТО, оценить затраты и разработать план повышения надежности на следующий год).

9.4.2 ТО систем водоподготовки следует проводить согласно инструкциям по техническому обслуживанию и графикам ТО с документальным оформлением его фактического проведения (например, в журнале ТО).

9.4.3 Графики и инструкции по ТО составляют уполномоченные подразделения предприятия, эксплуатирующие СВП. Графики ТО должны быть оформлены в форме календарного плана с указанием выполняемых работ. Аналогично должны быть оформлены графики калибровки (поверки) КИП.

9.4.4 Инструкции или другая документация должны регулярно пересматриваться. Все необходимые записи следует вести регулярно по установленной форме.

9.4.5 Инструкции по ТО должны предусматривать работу персонала согласно контрольным листам, которые содержат перечень запланированных работ на смену, сутки, неделю или на иные удобные для предприятия интервалы.

9.4.6 Ежедневный контроль СВП должен включать, как минимум:

- проверку наличия сообщений (аварий, предупреждений) системы автоматизации;
- визуальный осмотр системы (отпотевания, протечки, посторонние шумы, нехарактерные состояния системы);
- регистрацию основных параметров работы системы (температура, давление в трубопроводах, перепады давления на фильтрах, значения расходов);
- отбор и анализ проб;
- проверку функционирования дозаторов, загрузку реагентов в расходные баки дозирующих станций;
- проверку состояния сенсоров: датчиков температуры, электропроводности, pH, ОВП, ООУ. Должны фиксироваться параметры, прямо или косвенно указывающие на состояние системы водоподготовки;
- досыпку таблетированной соли до рабочих уровней (для регенерации умягчителей);
- контроль оперативного запаса реагентов.

9.4.7 После проведения контроля и оформления записей должны быть предусмотрены мероприятия по устранению обнаруженных отклонений. Отклонения могут устраняться оперативно или согласно плану. Выполнение мероприятий по устранению отклонений и их эффективность необходимо контролировать и анализировать.

9.5 Замена расходных материалов и быстроизнашивающихся частей

9.5.1 Замена расходных материалов должна быть организована по графику (плану) и внепланово по результатам контроля или на основании результатов прогнозирования.

9.5.2 При замене расходного материала необходимо вести записи, в которых следует указывать состояние заменяемого компонента. Например, при замене картриджей фильтров следует отмечать, был ли он деформирован и какой интенсивности были отложения. Рекомендуется приложить фото. Эти данные следует использовать для корректировки сроков замены в бóльшую или меньшую сторону. Для микрофильтров участка получения УЧВ рекомендуется проводить исследование фильтрующей поверхности на задержание частиц с помощью СЭМ.

9.5.3 При внеплановой замене расходного материала необходимо выявить вероятную причину, зафиксировать состояние заменяемого материала, при необходимости провести более глубокий анализ причин уменьшения сроков эксплуатации. Рекомендуется оценить риски по влиянию несвоевременной замены на стабильность работы СВП в целом. При необходимости следует принять решение об изменении плана замены расходных материалов.

9.5.4 Факт замены расходных материалов должен быть задокументирован.

Следующие виды расходных материалов должны заменяться с заданной периодичностью:

- засыпные среды (кроме активированного угля) заменяются после осмотра, если обнаружены комкование, наличие осколков зернистой загрузки, недостаточное количество фильтрующей среды. Для ИОС на участках получения УЧВ и СЧВ рекомендуется один раз в год проводить анализ обменной емкости и задержанных ионов путем исследования ионного состава регенерата, полученного пропусканием соляной кислоты и щелочи через два образца ИОС;
- активированный уголь заменяется по данным микробиологического контроля, но не реже одного раза в 6 мес или после простоя более 7 сут;

- мембраны ОО заменяются по данным наблюдения за электропроводностью и оценке нормированной селективности, а также по успешности проведения процедур химической очистки. Если после химической очистки наблюдается падение селективности более чем на 30 % по отношению к исходной селективности, то требуется замена мембран. В процессе замены мембран необходимо заполнить карту установки МЭ (см. 8.1.2);

- микрофильтры 5 мкм рекомендуется заменять при перепаде давления на них более 1,2 бара. Рекомендуется использовать гофрированные фильтроэлементы (см. 5.1.1.4) или фильтроэлементы, прошедшие испытания по ГОСТ Р 58810, с начальной эффективностью не менее 85 %;

- картриджи микрофильтров 0,22/0,45 мкм заменяют согласно инструкции производителя и согласно циклам стерилизации, но не реже одного раза в год;

- ультрафильтрационные мембраны заменяют согласно инструкции производителя. Полимерные мембраны могут находиться в эксплуатации не более 5 лет, керамические — не более 10 лет. После замены ультрафильтрационных мембран рекомендуется провести с помощью СЭМ исследование поверхности отработавших мембран, чтобы проанализировать количество, размер и природу задержанных ими частиц. Это может помочь определить возможный источник загрязнения.

Примечание — Нормированная селективность — это значение селективности, пересчитанное с учетом изменения внешних условий работы УОО. Нормированная селективность позволяет исключить влияние колебаний внешних параметров/условий (давление и температура питающей воды) (см. также 3.1.21).

9.5.5 Быстроизнашивающиеся части не подлежат ремонту или восстановлению.

9.5.6 Замена быстроизнашивающихся частей должна быть организована по графику (плану) и внепланово по результатам диагностики или на основании результатов прогнозирования.

9.5.7 Как правило, замена быстроизнашивающихся частей проходит по плану, т. к. замена обычно не связана с критической потерей ресурса. К быстроизнашивающимся частям относят уплотнения, прокладки, мембраны клапанов, мембраны гидроаккумуляторов, резьбовые фитинги, хомуты, манометры, УФ-лампы, а также полимерные изделия, подвергающиеся нагрузке или подверженные загрязнению трудно удаляемыми образованиями (шланги, гибкие полимерные трубки).

9.5.8 Обслуживание КИП, включая калибровку (поверку), должно вестись согласно плану, внеочередное обслуживание возможно на основании диагностики или результатов прогнозирования.

9.5.9 Датчики ОВП, pH или прямого измерения концентрации свободного хлора должны быть установлены в ячейке, пригодной для визуальной оценки ее состояния (налет, посторонние частицы, комки), в противном случае их профилактическую очистку необходимо вести два раза в неделю. Если ячейки прозрачные, калибровку или настройку следует выполнять один раз в 3 нед, если более высокая частота не указана производителем оборудования.

Необходимо иметь сменный комплект откалиброванных (настроенных) по стандартным растворам электродов для измерения pH/ОВП, всегда готовых к работе. Рекомендуется один раз в 1—2 мес осуществлять ротацию электродов со сменным комплектом, выбраковывая нестабильные электроды.

9.5.10 При замене смолы на участке получения УЧВ предварительно следует выполнять тест на статическую эмиссию из образца смолы при температуре УЧВ (40 ± 3) °С, а в случае использования сверхчистой соляной кислоты — (23 ± 2) °С. Длительность обработки — не менее 15 ч в обоих случаях. Смола должна выдерживать испытания согласно приложению Б. Максимальное время отмывки смолы по параметру ООУ не должно превышать 8 сут.

Следует использовать монодисперсную смолу, в которой целых частиц смолы не менее 85 %. Допускается 5 % расколотых частиц и 10 % с трещинами.

9.5.11 Фильтрующие материалы, улавливающие частицы, должны заменяться на новые в соответствии с рекомендациями производителя, т. к. со временем они сами начинают выделять частицы. Особенно это касается частиц с размером меньшим, чем поры фильтра. После замены фильтрующих материалов может потребоваться их длительная промывка. Отработанные материалы следует исследовать с помощью СЭМ или технологии LNS для определения распределения уловленных частиц и планирования технического обслуживания (см. также 9.3.4).

Приложение А
(рекомендуемое)

Расчет содержания частиц в воде при их нормальном распределении

А.1 Примеры расчета совокупной концентрации частиц различного диаметра по имеющимся данным:

а) по концентрации частиц какого-либо диаметра и коэффициенту распределения;

б) по двум или более значениям совокупной концентрации частиц каких-либо диаметров.

А.1.1 Предположим, что определено значение совокупной концентрации в воде частиц размером 50 нм. Пусть это значение равно 10^5. Значение коэффициента распределения пусть равно –3,7 (см. 4.2.6.6 и рисунок 1).

Определим совокупную концентрацию частиц размерами 20, 9 и 3 нм:

Согласно формуле (1)

$$f(d) = K \cdot d^{n}$$

и исходным данным имеем:

$$10^5 = K \cdot 50^{n}, \text{ где } n = -3{,}7. \tag{А.1}$$

Для частиц диаметром 20 нм:

$$f(20) = K \cdot 20^{n}. \tag{А.2}$$

Для частиц диаметром 9 нм:

$$f(9) = K \cdot 9^{n}. \tag{А.3}$$

Для частиц диаметром 3 нм:

$$f(3) = K \cdot 3^{n}. \tag{А.4}$$

Тогда совокупную концентрацию частиц диаметром 20 нм находим исходя из уравнений (А.1) и (А.2):

$$f(20) = 10^5 \cdot \left(\frac{20}{50}\right)^{n} = 10^5 \cdot \left(\frac{20}{50}\right)^{-3,7} = 3{,}0 \cdot 10^6.$$

Совокупную концентрацию частиц диаметром 9 нм находим исходя из уравнений (А.1) и (А.3):

$$f(9) = 10^5 \cdot \left(\frac{9}{50}\right)^{n} = 10^5 \cdot \left(\frac{9}{50}\right)^{-3,7} = 5{,}7 \cdot 10^7.$$

Совокупную концентрацию частиц диаметром 3 нм находим исходя из уравнений (А.1) и (А.4):

$$f(3) = 10^5 \cdot \left(\frac{3}{50}\right)^{n} = 10^5 \cdot \left(\frac{3}{50}\right)^{-3,7} = 3{,}3 \cdot 10^9.$$

А.1.2 Предположим, что определено значение совокупной концентрации в воде частиц размером 50 и 40 нм: $f(50)$ и $f(40)$, соответственно.

Определим совокупную концентрацию частиц размерами 20; 9 и 3 нм.

Сначала по имеющимся данным нужно построить график (см. рисунок 1) и по нему определить значение коэффициента распределения. График удобно использовать, если эмпирические данные есть по трем и бóльшему количеству диаметров частиц.

Если значений всего два, n можно просто вычислить по формуле

$$n = \frac{\lg\left(f\left(40\right)\right) - \lg\left(f\left(50\right)\right)}{\lg\left(40\right) - \lg\left(50\right)}. \tag{А.5}$$

Пусть значение f (50) равно 10^5, а значение f (40) равно $2 \cdot 10^5$.
Тогда по формуле (А.5):

$$n = \frac{\lg (200000) - \lg (100000)}{\lg (40) - \lg (50)} = -3,1.$$

Затем аналогично А.1.1 можно найти совокупные концентрации частиц заданных размеров 20; 9 и 3 нм:
Совокупная концентрация частиц диаметром 20 нм:

$$f(20) = 10^5 \cdot \left(\frac{20}{50}\right)^n = 10^5 \cdot \left(\frac{20}{50}\right)^{-3,1} = 1,7 \cdot 10^6.$$

Совокупная концентрация частиц диаметром 9 нм:

$$f(9) = 10^5 \cdot \left(\frac{9}{50}\right)^n = 10^5 \cdot \left(\frac{9}{50}\right)^{-3,1} = 2,0 \cdot 10^7.$$

Совокупная концентрация частиц диаметром 3 нм:

$$f(3) = 10^5 \cdot \left(\frac{3}{50}\right)^n = 10^5 \cdot \left(\frac{3}{50}\right)^{-3,1} = 6,1 \cdot 10^8.$$

Приложение Б
(обязательное)

Тестирование ионообменных смол на эмиссию остаточной органики, металлов и частиц в ультрачистую воду

Б.1 Общие положения

Б.1.1 В настоящем приложении описаны методики и критерии качества ИОС при проведении тестов статической и динамической экстракции примесей из образца ИОС в воду и в раствор соляной кислоты (см. [10]).

Для оценки возможности нормальной работы ИОС в контуре УЧВ следует провести исследование эмиссии органических веществ и металлов из образцов ИОС в воду в статическом режиме.

Б.1.2 Для оценки времени отмывки ИОС и расхода УЧВ следует провести исследование эмиссии органических веществ, частиц и NVR из образцов ИОС в воду в динамическом режиме.

Б.2 Методика отбора образца ИОС

Б.2.1 В зоне отбора образцов не должны проводиться строительные и другие работы. Перед открытием барабана с ИОС следует очистить поверхность от загрязнений.

Б.2.2 Отбор образцов смолы должен осуществляться в чистой зоне с однонаправленным потоком воздуха не ниже класса 7 ИСО в оснащенном состоянии, пороговый размер частиц 0,5 мкм. Тара для отбора проб может представлять собой два пакета: внутренний (первый) и внешний (второй) и не должна являться источником загрязнений.

Б.2.3 Отбирать смолу нужно в костюме для чистых помещений, в перчатках, не содержащих тальк и оксид цинка.

Б.2.4 Вскройте барабан и защитные пакеты с ИОС, согласно протоколу отбора проб отберите смолу в первый пакет, закройте его, нанесите маркировку, закройте защитный пакет и барабан, поместите пакет с образцом смолы во второй пакет, нанесите маркировку — дату, время и кто брал образец. Упакуйте в воздушно-пузырчатую пленку и храните в холодильнике при температуре от 5 °С до 15 °С.

Б.2.5 Во время отбора смолы следует сместить 5 см верхнего слоя и затем отобрать 1 л ИОС для статического теста и столько же для динамического теста.

Б.3 Методика оценки доли целых гранул ИОС

Б.3.1 Наличие треснутых или разбитых гранул ИОС вносит дополнительный вклад в фон частиц, создавая дополнительную нагрузку на фильтры.

Б.3.2 Для определения доли разбитых и треснутых частиц используйте образец ИОС, нанесенный на предметное стекло, прикрытое покровным. После нанесения капли УЧВ и легкой вибрации смола распределится под покровным стеклом в один слой. Начните подсчет гранул смолы в поле зрения микроскопа при увеличении в 150 раз. Общее число сосчитанных гранул должно быть 100 шт.

Б.3.3 При последовательном подсчете 100 гранул оценивайте количество идеальных гранул, количество гранул с трещинами и количество расколотых гранул.

Б.3.4 Долю целых гранул (Ц) определяют как отношение количества целых к 100.

Б.3.5 Долю треснувших гранул (Т) определяют как отношение количества целых, но треснувших, к 100.

Б.3.6 Долю расколотых гранул (Р) определяют как отношение количества расколотых к 100.

Б.3.7 Повторяют подсчеты для трех слотов, вычисляя среднее значение.

Б.3.8 Доля треснувших должна быть $Т < 0,1$; расколотых $Р < 0,05$.

Б.4 Методика статической экстракции примесей из ИОС

Б.4.1 Оборудование, подготовка контейнеров

Б.4.1.1 Необходимо подготовить контейнер из ПФА, отмытый и проверенный на выделение фоновой органики и тяжелых металлов.

Б.4.1.2 Потребуется УЧВ[1)] с содержанием фонового загрязнения менее пределов обнаружения или значительно ниже значений результатов испытаний. Фоновые значения, превышающие пределы обнаружения, должны быть включены в отчет.

Б.4.1.3 Контейнер из ПФА, заполненный УЧВ, потребуется для вычитания фоновых значений в отчете.

Б.4.1.4 Объем контейнеров должен быть достаточным для проведения анализа (не менее 500 мл). Если выбран дополнительный тест PSDA, для анализа потребуется дополнительный объем 250 мл.

[1)] Качество УЧВ должно быть не хуже 18,1 МОм·см при температуре 25 °С, ООУ < 2 мкг/л, финишная фильтрация 0,1 мкм.

Б.4.1.5 Определите рабочий объем контейнера и нанесите отметки 1/3, 2/3 и 3/3; в контейнер должны поместиться два объема УЧВ и один объем ИОС[1]. Наполните контейнер УЧВ, добавьте ИОС до отметки 1/3 (смола должна полностью осесть), добавьте воды до рабочего уровня. Закройте, встряхните контейнер и оставьте на 1 ч. При необходимости добавьте смолы, если обнаружено существенное ее сжатие. Вся добавленная смола должна быть взвешена с точностью до 0,5 г. Слейте с поверхности воду, поверьте ее объем — он должен быть достаточным для проведения анализа.

Б.4.2 Методика статической экстракции примесей из образца ИОС в УЧВ

Б.4.2.1 Добавьте в предварительно очищенный контейнер из ПФА объемом 500 мл до 1/3 объема контейнера ИОС (~200 мл ИОС[2]). Объем определяется приблизительно, но пробу смолы нужно взвесить с точностью 0,5 г. Предварительно должен быть определен рабочий объем контейнера (см. Б.4.1.5).

Б.4.2.2 Заполните контейнер УЧВ. Запишите объемы ИОС и УЧВ, добавленных в контейнер. Объем добавленной УЧВ нужно отмерять с точностью до 1 мл. Рассчитайте объем смолы путем вычитания объема УЧВ из общего объема контейнера.

Б.4.2.3 Промывка

Промойте смолу — вручную встряхните контейнер и слейте как можно больше воды, стараясь не потерять смолу.

Б.4.2.4 Повторите шаги Б.4.2.2, Б.4.2.3 десять раз.

Б.4.2.5 Проведение теста.

Заполните контейнер со смолой УЧВ и поместите его в термостат при температуре (40 ± 3) °С на 15 ч.

Б.4.2.6 Извлеките контейнер из термостата и встряхивайте с помощью вибромешалки при 75 об/мин в течение 1 ч.

Б.4.2.7 Слейте УЧВ и отберите образцы для определения частиц с помощью LPC, SEM (опционально) и PSDA (опционально), а также для определения металлов, ООУ и органических примесей (опционально).

Б.4.3 Методика статической экстракции примесей из образца ИОС в раствор соляной кислоты (определение остаточных количеств ионов металлов)

Б.4.3.1 Поместите 10 г смолы в отмытый флакон из ПФА объемом 125 мл, в который уже добавлено 50 мл раствора HCl[3] (35 %), предварительно разведенного с УЧВ в соотношении 1:3 при температуре окружающей среды.

Б.4.3.2 Встряхивайте раствор смолы/HCl вручную в течение 30 с.

Б.4.3.3 Выдерживайте раствор в течение 1 ч.

Б.4.3.4 В течение 30 с вручную встряхивайте раствор, а затем дайте смоле осесть в течение 30 мин.

Б.4.3.5 Декантируйте кислотный раствор с поверхности ИОС для анализа металлов. Выполните анализ. Значения концентраций металлов в растворе должны быть включены в отчет.

Б.4.3.6 Приготовьте холостой раствор (без смолы). Он должен быть приготовлен по тем же этапам, что и раствор со смолой. Выполните анализ. Значения концентраций металлов в холостом растворе должны быть включены в отчет.

Б.5 Методика динамической экстракции примесей из ИОС

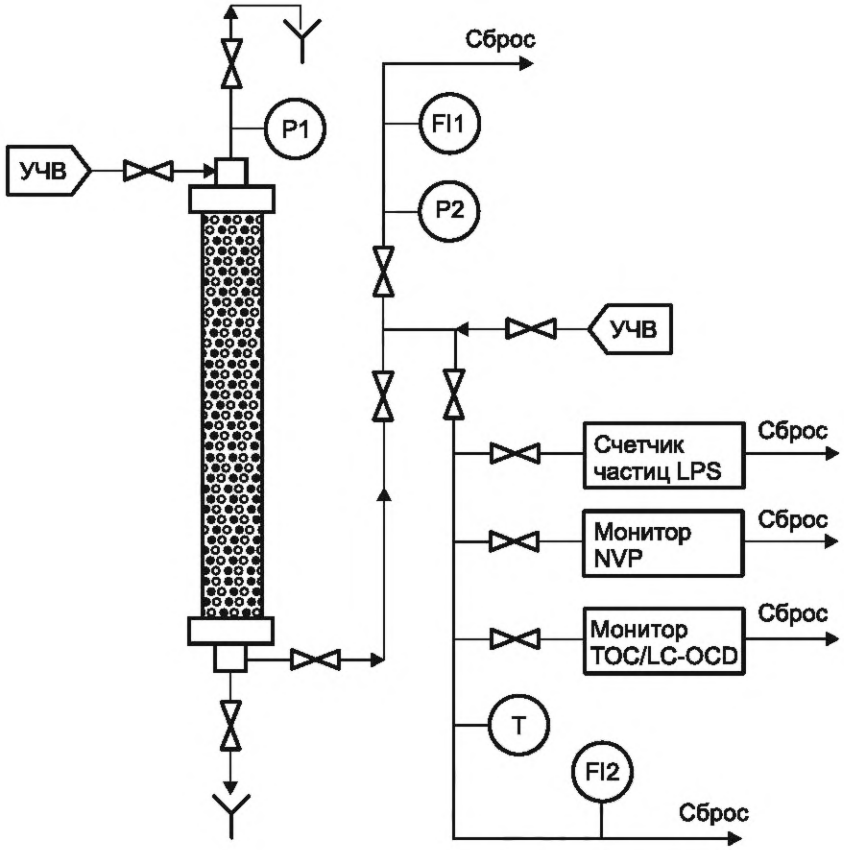
Б.5.1 Установка динамической экстракции должна быть изготовлена из высокочистых материалов согласно разделу 6. На рисунке Б1 показана схема такой установки. Колонку с ИОС рекомендуется изготавливать из PVDF, а подключение осуществлять трубками из PFA.

---

[1] При смешивании ИОС с УЧВ общий объем уменьшается.

[2] Приведен объем смолы в сухом виде.

[3] Остаточное содержание металлов в кислоте должно быть как можно ниже, менее 1 мкг/л.



P1, P2 — датчики давления; T — термометр; FI1, FI2 — расходомеры

Рисунок Б.1 — Схема установки для проведения исследования эмиссии загрязнителей в УЧВ в динамическом режиме

Б.5.2 Заполните колонку ИОС и установите в прибор (см. рисунок Б.1). Не допускайте суспендирования ИОС в колонке во избежание разделения ионитов. Подавайте УЧВ сверху, после заполнения колонки выпустите воздух через верхний и нижний вентиляционные краны. Увеличьте скорость до 90 л/ч, промывайте смолу в течение 5 мин, уменьшите расход до 25 л/ч и начните измерять параметры воды. Периодически сбрасывайте воздух, если он появился.

Примечание — Колонка забивается смолой в среде класса чистоты не ниже 7 ИСО в оснащенном состоянии, пороговый размер частиц 0,5 мкм. Забивка осуществляется механически с постукиванием для утрамбовки смолы или с использованием вибростола.

Б.5.3 В течение 3 сут фиксируйте значения: частицы (PSDA), NVR, ООУ.

Б.5.4 Вычтите фоновые значения из полученных после трехдневной промывки. Если фоновые значения менялись, используйте последние значения. Занесите в форму Б.1.

Б.5.5 Постройте регрессионную логарифмическую зависимость на основе полученных данных, экстраполируя падение значений параметров во времени до достижения необходимого уровня загрязнения (критериев успеха отмывки ИОС). Прогнозируемый срок отмывки не должен превышать 8 сут.

Б.6 Проверка качества смолы

Б.6.1 Поставщик ИОС или потребитель самостоятельно должен разработать и реализовать программу испытаний смолы, основанную на методиках, изложенных в настоящем приложении. В программе испытаний должна быть указана частота проведения испытаний смолы и определен план действий, если смола не будет соответствовать требованиям конечного пользователя к качеству.

Б.6.2 Проба смолы считается репрезентативной для всей партии, если смола хранилась в одинаковых условиях. Образцы должны быть отобраны из партии случайным образом.

Б.6.3 Проверка качества смолы должна начинаться с определения количества целых гранул. Критерий приемлемости: доля целых нетреснувших гранул не менее 0,9, а целых, треснутых и нерасколотых гранул — не менее 0,95 (см. Б.3).

Б.6.4 Форма сводного отчета

Б.6.4.1 Если критерии приемлемости по целостности гранул смолы не соблюдены, смолу бракуют или проводят исследование статической эмиссии частиц и ООУ в УЧВ. Тесты на эмиссию ООУ проводят в любом случае. Если статические тесты не пройдены, то проводят тест на динамическую эмиссию частиц и ООУ. Если не пройден тест по частицам, а по УОО пройден, то образец вытяжки исследуют методом СЭМ. Если при исследовании методом СЭМ тест по частицам проходят, то смолу можно использовать.

Б.6.4.2 Если смола не проходит тест по ООУ, то на стадии статической эмиссии проводят исследование динамической эмиссии. Если и оно не проходит по критериям, то проводят исследования LC-OCD для определения природы загрязнения и оценки возможности отмывки смолы, т. к. часто смола загрязнена летучей органикой (с температурой кипения ниже 200 °С), что не является критичным для процесса.

Б.6.4.3 Для оценки вымывания металлов проводят тест на статическую эмиссию металлов в воду. В случае пограничных значений проводят дополнительный тест на статическую эмиссию металлов в раствор соляной кислоты. Формируют окончательный отчет по форме Б.1.

Сводный отчет по эмиссии органических веществ и металлов из образцов ИОС

Форма Б.1

Марка ИОС_____Наименование лаборатории_____

Производитель ИОС/Поставщик _____ Дата анализа _____

Номер партии _____Объем образца, мл_____

Серийные номера индивидуальных упаковок _____ Размер гранул ИОС, мм_____

Пункт стандарта	Описание теста	Значение по спецификации	Предел обнаружения	Измеренное значение	Вывод*
Б.4	Тест на вынос из ИОС частиц				
Б.4	Результаты PSDA для статической эмиссии частиц				
Б.4	Выделение частиц, шт./мл				
	> 0,3 мкм				
	> 0,1 мкм				
	> 1 мкм				

* Если конкретное тестирование не нужно, укажите «НТ» (не требуется).

Б.4	Металлы (выбрать тип процедуры)	Экстракция в УЧВ или HCl			
	Алюминий				
	Мышьяк				
	Барий				
	Бор				
	Кальций				
	Хром				
	Медь				
	Железо				
	Свинец				
	Литий				
	Магний				
	Марганец				
	Никель				
	Калий				
	Натрий				
	Стронций				
	Цинк				
	Кобальт				
	Олово				
	Молибден				
	Цирконий				
Б.5	ООУ на протоке				
Б.4	ООУ в вытяжке				
Б.3	Доля поврежденных гранул ИОС				

Подтверждаю, что сведения, представленные выше, верны.

Подпись _____

ФИО_____

Комментарии

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Б.7 Методы анализа

Б.7.1 Для анализа вытяжек из ИОС используют нижеприведенные методы.

Б.7.1.1 Частицы — LPC (от 0,3 до 1 мкм), PSDA опционально для критических применений — от 10 нм до 0,5 мкм; СЭМ опционально для определения формы и природы частиц.

Б.7.1.2 Органические вещества — анализ с помощью TOC-анализатора или LC-OCD.

Б.7.1.3 Металлы — анализ с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой высокого разрешения(HR-ICP-MS).

Б.7.1.4 Измерение нелетучего остатка (NVR) — методом испарения аэрозоля УЧВ и подсчета образовавшихся частиц.

Б.8 Ориентировочные значения эмиссии загрязнений при статических испытаниях и результаты промывки ИОС для динамических испытаний

Б.8.1 Каждый владелец СВП должен самостоятельно определить критерии приемлемости для своей СВП и при замене ИОС руководствоваться ими. Указанные ниже значения могут служить ориентиром.

Таблица Б.1 — Фоновые значения, полученные на установке динамической экстракции (см. рисунок Б.1) без загрузки ИОС

Образец	ООУ, мкг/л	NVR, нг/л	Частицы, ≥10 нм (шт./мл)
Система динамической экстракции (пустая)	0,2—0,6	50—260	$1{,}15 \cdot 10^7$ — $1{,}57 \cdot 10^7$

Таблица Б.2 — Сведения по отмывке образца ИОС на установке динамической экстракции (см. рисунок Б.1), за вычетом фоновых значений из таблицы Б.1

Образец	ООУ (TOC)		NVR (NVR)		Частицы, ≥10 нм (шт./мл)	
Значение параметра	1 мкг/л	0,2 мкг/л	500 нг/л	50 нг/л	$1{,}6 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$
Объем УЧВ*, л	20—80	100—2000	1—5	10—200	15—150	50—800
То же, но без ИОС, л	1	1	1	10	3	50
* На отмывку ИОС в системе динамической экстракции до указанных в головке таблицы значений.						

Б.8.2 В таблице Б.2 значения объема воды более 1800 л (25 л/ч·24ч·3 сут) означают, что до указанных в таблице значений за 3 сут отмыть ИОС не удалось. Однако при экстраполяции не более 8 сут такая отмывка возможна.

Б.8.3 В тесте на статическую эмиссию типичный диапазон значений ООУ за вычетом фона, как правило, составляет от 50 до 250 мкг/л.

Б.8.4 В тесте на статическую эмиссию типичные данные по частицам, полученные различными методами, приведены в таблицах Б.3—Б.5.

Таблица Б.3 — Данные по содержанию частиц (PSDA) в экстракте ИОС, полученном по методике статической экстракции

Образец	Концентрация частиц $\cdot 10^6$ шт./мл		
Значение параметра	≥10 нм	≥20 нм	≥30 нм
Типичное значение для ИОС	65—130	4—25	0,2—8
То же, но без ИОС, л	20—35	2—3	0,50—0,55

Таблица Б.4 — Данные по содержанию частиц (LPS) в экстракте ИОС, полученном по методике статической экстракции

Образец	Концентрация частиц LPS, шт./мл			
Значение параметра	>0,3 мкм	>0,5 мкм	>1 мкм	>2 мкм
Типичное значение для ИОС	200—65 000	80—20 000	5—2500	0,5—500
То же, но без ИОС, л	39	7	0,8	0,3

Таблица Б.5 — Данные по содержанию частиц методом СЭМ (непосредственный подсчет с применением электронного микроскопа) в экстракте ИОС, полученном по методике статической экстракции

Образец	Концентрация частиц SEM, шт./мл			
Значение параметра	>0,1—0,2 мкм	>0,2—0,5 мкм	>0,5—1,0 мкм	>1 мкм
Типичное значение для ИОС	95—1500	Не более 190	Не более 100	Н/д
То же, но без ИОС, л	<50	<50	<50	<50
Н/д — не допускается.				

Б.8.5 В тесте на статическую эмиссию металлов в УЧВ при вычитании фона не должны обнаруживаться ионы металлов (методом ICP-MS). Чувствительность метода 0,1—1,0 нг/л (серебро, алюминий, мышьяк, золото, бор, барий, бериллий, висмут, кальций, кадмий, церий, кобальт, хром, цезий, медь, железо, галлий, германий, ртуть, калий, литий, магний, марганец, молибден, натрий, никель, свинец, олово, стронций, титан, ванадий, церий). Наиболее частые отклонения — по железу, натрию, калию, кальцию, не более 40 нг/л.

Таблица Б.6 — Данные по статической эмиссии металлов в раствор соляной кислоты из ИОС

Элемент	Чувствительность, нг/л	Найденное значение, нг/г (смолы)
Алюминий	0,1	0,5—1,7
Мышьяк	0,2	0,4
Барий	0,05	0,08
Бор	1	5
Кальций	0,1	12
Хром	0,1	7,1
Медь	0,1	0,3
Железо	1	330
Свинец	0,1	Н/д
Литий	0,05	Н/д
Магний	0,1	20
Марганец	0,1	6,2
Никель	0,1	7,6
Калий	1	14
Натрий	0,1	710
Стронций	0,05	0,13
Цинк	1	Н/д
Кобальт	0,05	0,19
Олово	0,1	Н/д
Молибден	0,1	0,4
Цирконий	0,1	0,2
Н/д — не допускается.		

Приложение В
(обязательное)

Примеры схем получения подпиточной (сверхчистой) воды

В.1 В настоящем приложении приведены варианты комбинированных технологий водоподготовки для получения подпиточной воды, направляемой на участок получения и распределения УЧВ. Варианты представлены в виде блок-схем. Они позволяют получить подпиточную (сверхчистую) воду в СВП УЧВ типов Е1.3, Е1.4 и Е1.5. Схемы не являются исчерпывающими для проектирования СВП и не ограничивают применение других комбинаций технологий для получения СВЧ. По сравнению со схемой, приведенной на рисунке 2, представленные в этом приложении блок-схемы более детальны и делают акцент на использование ультрафильтрации.



Рисунок В.1 — Блок-схема получения подпиточной (сверхчистой) воды в системе водоподготовки УЧВ (типы Е1.3, Е1.4)

В.2 Местоположение борселективной ИОС в схемах, представленных на рисунках В.1 и В.2, определяется остаточным содержанием бора. В ряде случаев более предпочтительным может быть размещение борселективной смолы после электродеионизации, что позволит значительно увеличить фильтроцикл борселективной смолы.

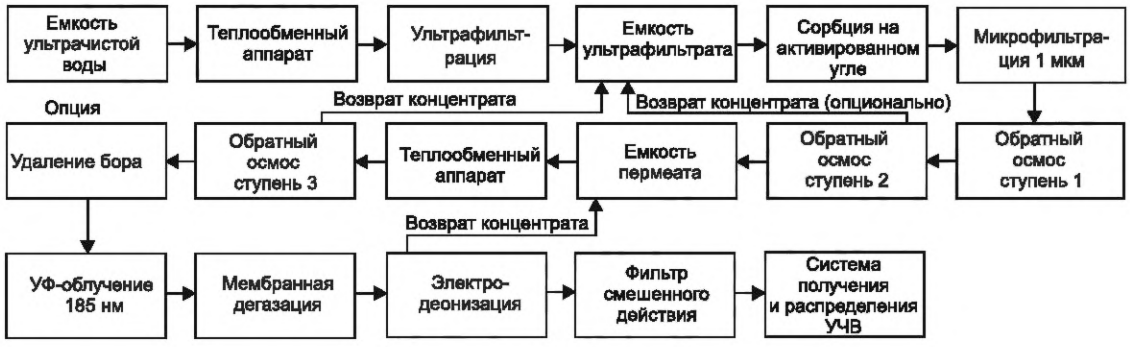


Рисунок В.2 — Блок-схема получения подпиточной (сверхчистой) воды в системе водоподготовки УЧВ типа Е1.5

Приложение Г
(обязательное)

Примеры схем получения и распределения УЧВ

Г.1 В настоящем приложении приведены варианты комбинированных технологий водоподготовки для получения УЧВ, направляемой к технологическому оборудованию производства полупроводниковых микросхем. Приведены варианты, которые позволяют получить воду типов Е1.3, Е1.4 и Е1.5. Схемы не являются исчерпывающими для проектирования СВП и не ограничивают применение других комбинаций технологий для получения воды указанных типов. По сравнению со схемой, приведенной на рисунке 2, представленные в этом приложении блок-схемы более детальны и делают акцент на применение упреждающего контроля для обеспечения качества УЧВ.

Ультрафильтрация 5 нм, показанная в составе схем на рисунках Г.1 и Г.2 в настоящее время может быть выполнена только из неорганических материалов (см. таблицу 3), поэтому для снижения риска загрязнения УЧВ ионами металлов добавлена еще одна ступень ФСД и микрофильтрации рейтингом 0,04 мкм.

Наличие ультрафильтрации 5 нм для техпроцессов более 10 нм не является необходимым, однако есть основания предполагать, что на уровне топологии технологического процесса менее 6 нм без указанного оборудования не обойтись.

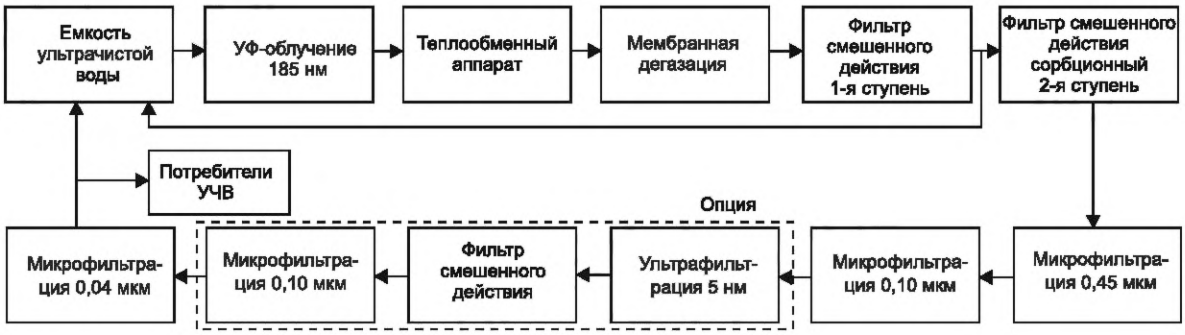


Рисунок Г.1 — Блок-схема участка получения УЧВ типов Е1.3, Е1.4 и ее распределение

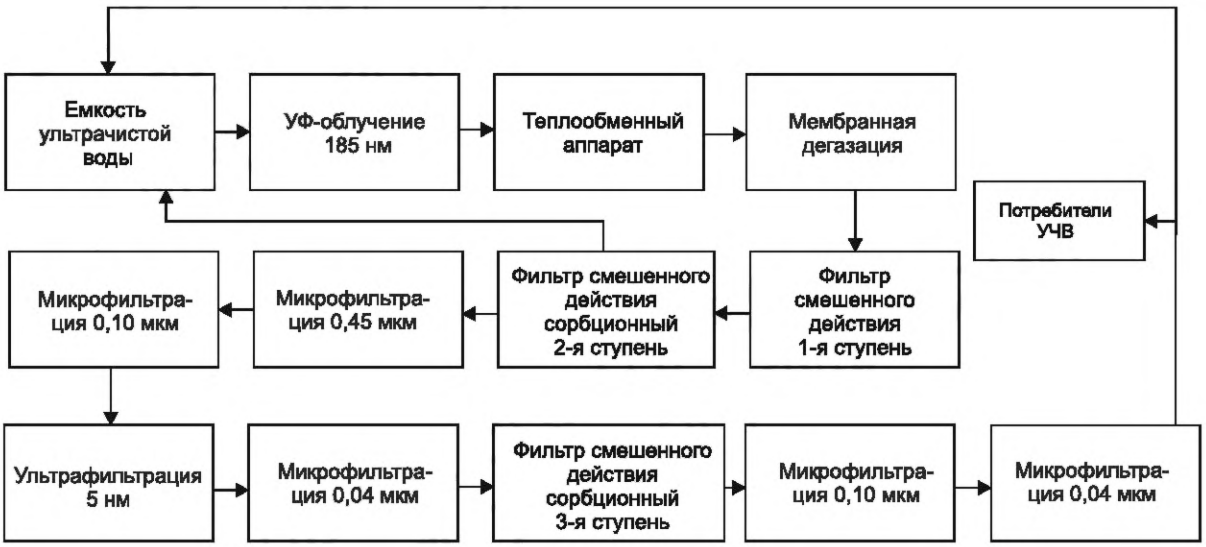


Рисунок Г.2 — Блок-схема участка получения УЧВ типа Е1.5 и ее распределение

Приложение Д
(обязательное)

Повторное использование воды

Д.1 Решения по оборотному водоснабжению включают два аспекта.

Первый аспект состоит в использовании возвратной (от производственного оборудования) воды, качество которой соответствует качеству воды деионизованной. Такую возвратную воду доочищают до качества СЧВ и включают в общий цикл производства УЧВ (см. рисунок Д.1).

Второй аспект состоит в использовании сточной воды, например хозяйственно-бытовой или возвратной воды с высокой электропроводностью. Такие сточные воды очищают и используют в качестве исходной воды на входе в СВП.

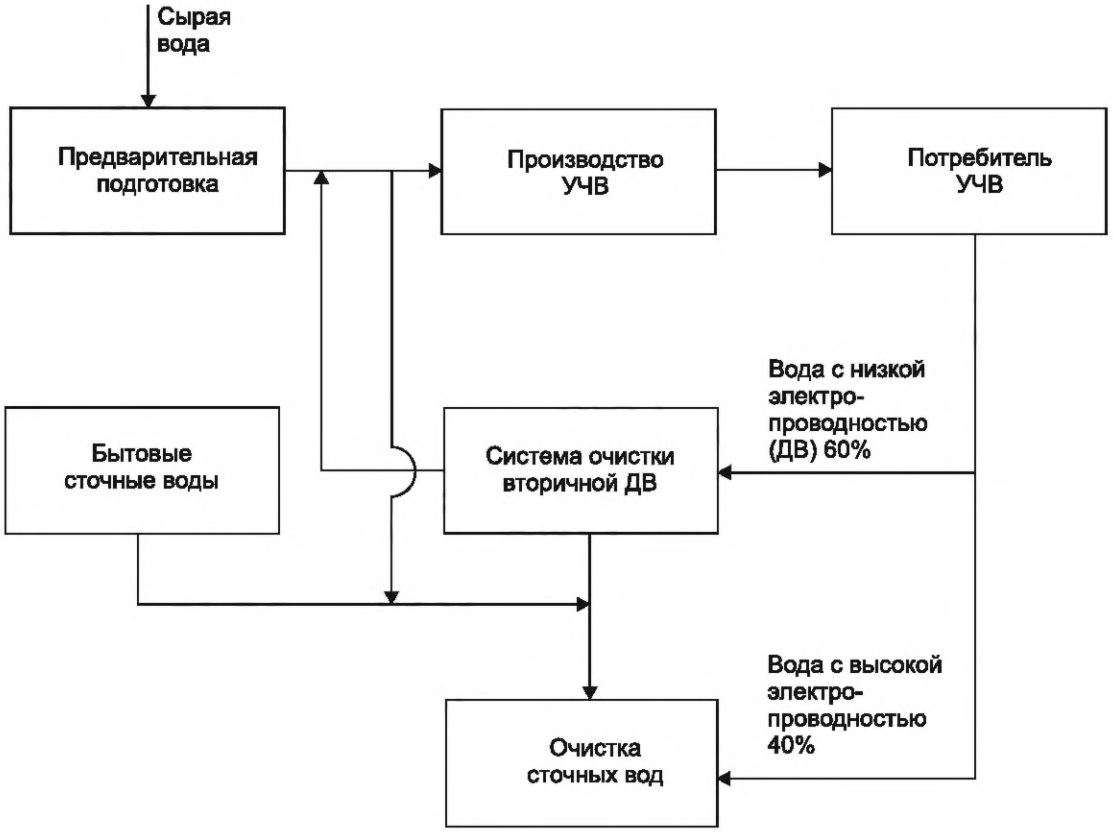


Рисунок Д.1 — Потоки УЧВ, ДВ и сточных вод в схеме повторного использования. Соотношение вод, возвращающихся от потребителей, приведено для типичного производства микросхем мирового уровня 2020 года

Д.2 В процессе производства микроэлектронных компонентов образуется большой объем сточных вод.

Коэффициент повторного использования воды определяется как соотношение объема повторно используемой или восстановленной из стоков воды к общему объему исходной воды, поступающей на вход предприятия. К исходной воде относится не только вода, используемая для непосредственно технологического цикла водоподготовки УЧВ, но и вода для охлаждения, технических нужд и рекреационных целей (озеленение территорий, устройство фонтанов и пр.).

В настоящее время считается, что коэффициент повторного использования воды на предприятиях микроэлектроники, равный 40 %, является хорошим показателем. Для вновь проектируемых производств рекомендуется проектное значение коэффициента повторного использования более 50 %. У мировых лидеров микроэлектронного производства коэффициент повторного использования превышает 80 %.

Д.3 Ключом к повторному использованию воды является разделение стоков по следующим категориям:

а) сильно загрязненные во́ды, как правило, представляющие собой загрязненные растворы химических реагентов с различных этапов производства микросхем (см. рисунок Д.2);

б) загрязненные сточные (возвратные) во́ды. К ним относится вода с высокой электропроводностью (см. рисунок Д.1);

в) слабозагрязненные возвратные во́ды. К ним относится ДВ с низкой электропроводностью (см. рисунок Д.1). К слабозагрязненным водам можно отнести:

1) воду от неработающего оборудования, т. к. заводское оборудование может потреблять значительное количество воды во время простоя для поддержания чистоты оборудования. Сбор этой воды не требует очистки для повторного использования,

2) промывочную воду для кремниевых пластин — вторую и третью промывочные во́ды, образующиеся в процессе очистки кремниевых пластин. Эта вода имеет достаточно высокое качество, чтобы использоваться повторно для подпиточной воды в системе УЧВ или непосредственно использоваться в качестве более низкого класса воды, например на первых этапах отмывки кремниевых пластин. Использование этой воды требует системы разделения потоков по качеству, а также дополнительного контроля для снижения рисков загрязнения СВП.

Д.4 Каждая категория сточных и возвратных вод может быть разделена еще на несколько типов в зависимости от загрязнителя, т. к. особенностью заводских технологических операций является то, что во́ды на определенном этапе могут быть загрязнены только одним загрязнителем, что позволяет организовать отдельный сбор по химическому загрязнителю и повторное использование реагентов. На современных предприятиях нормальным считается сбор от 20 до 40 типов водных потоков с различным составом, которые не смешивают друг с другом, а обрабатывают отдельно.

Д.5 Воду с низкой электропроводностью (менее 0,1 мкСм/см) и ООУ менее 500 мкг/л, полученную после финишной промывки кремниевых пластин и других операций, доочищают в отдельной системе получения УЧВ из возвратной ДВ. Как правило, в эту систему входит следующее оборудование: угольный фильтр; микрофильтры с рейтингом 1; 0,45; 0,2 мкм; УФ-излучение 185 нм; сорбция на смешанной ИОС; сорбция на смеси монодисперсного активированного угля со смешанной ИОС; микрофильтрация 0,1 мкм и ультрафильтрация. Далее воду подают в емкость УЧВ. Первичную микрофильтрацию в случае проблем с частицами в УЧВ заменяют на двухступенчатую установку обратного осмоса с КПД 0,8 на 1-й ступени 0,9 на 2-й ступени. Концентрат сбрасывают в поток сточной воды с высокой электропроводностью.

Д.6 На большинстве действующих в мире предприятий используют следующие технологии очистки сточных технологических вод: ОО, ультрафильтрацию на керамических и органических мембранах, каталитическое окисление, сорбцию на активированном угле, микрофильтрацию и биологическую очистку с последующей обработкой на ультрафильтрационных мембранах.

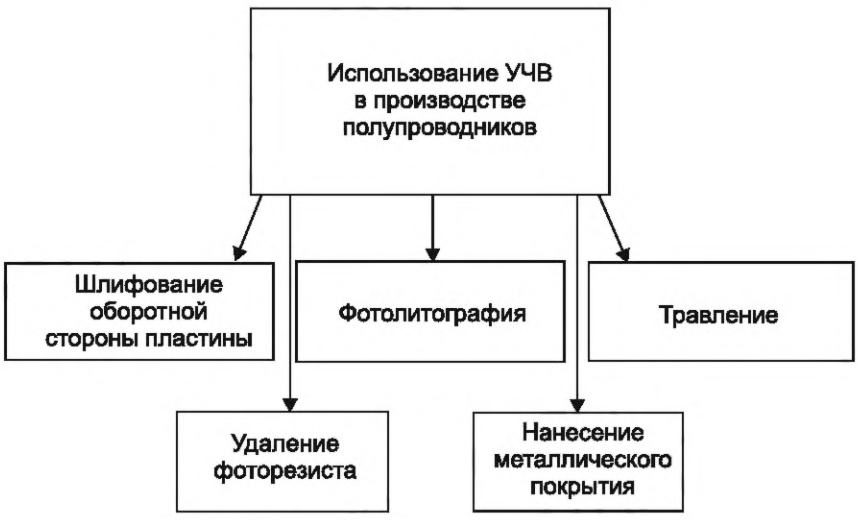


Рисунок Д.2 — Некоторые этапы производства полупроводников, на которых используется УЧВ [9]

Д.7 Наиболее распространенные органические соединения, составляющие остаточные значения ООУ в УЧВ, представляют собой низкомолекулярные соединения: изопропанол, метанол и мочевину. Наиболее трудноудаляемым из этих соединений является мочевина. Как правило, мочевина содержится в исходной водопроводной воде в количестве от 5 до 20 мкг/л, в очищенной сточной воде — от 20 до 1000 мкг/л. Исследования показывают, что 1 мкг/л мочевины в исходной воде может увеличить значение ООУ в УЧВ после всех стадий очистки на 0,1 мкг/л. Это означает, что при использовании сточной воды в качестве исходной следует учитывать содержание мочевины и предусматривать дополнительные этапы ее удаления, которые в классических схемах производства УЧВ из природной артезианской воды не используют.

Д.8 Для удаления остаточной мочевины применяют мезопористые цеолиты, активированный уголь, а также УФ-излучение с длиной волны 185 нм (эффективность удаления мочевины достигает только 10 %, тогда как значение ООУ обычно падает на 65 % — 85 %). Наиболее эффективными способами удаления остаточной мочевины считаются следующие методы:

а) фотоинициированное окисление мочевины на фотокатализаторе (оксид титана и др.);

б) окисление персульфатом аммония, активированного УФ-излучением в присутствии ионов переходных металлов, например железа (III).

Приложение Е
(рекомендуемое)

Эксплуатационные характеристики расходных материалов

Е.1 В таблице Е.1 приведены рабочие скорости в фильтрах, загруженных различными фильтрующими материалами.

Таблица Е.1 — Эксплуатационные свойства наиболее распространенных фильтрующих материалов (зернистых загрузок)

Фильтрующий материал	Рабочая скорость, м/ч	Скорость обратной промывки, м/ч	Насыпная плотность, кг/м^3	Примечание
Песок, фракция от 0,8 до 1,2 мм	5—10	25—65	1500—1600	Рабочая скорость зависит от качества воды, поступающей на фильтр и режима (номинальный или форсированный) фильтрации
Гидроантрацит, фракция от 0,8 до 1,2 мм	≥ 8	25—45	700—900	То же
BIRM	8—12	25—30	700—800	«
АПТ-1	10—20	20—30	510	«
FAG	≥12	20—25	380—420	«
Смола катионообменная, в Na-форма	5—60	12—15	700—900	Рабочая скорость зависит от жесткости исходной воды, а также на какой стадии применяется эта загрузка
Уголь активированный, на основе кокосовой скорлупы	3—20, типично 5 и 15	25—30	500—550	Бóльшая рабочая скорость выбирается для удаления хлора, мéньшая — для удаления органики

Е.2 В таблице Е.2 приведены требования к чистоте некоторых реагентов, использующихся при подготовке воды для микроэлектронной промышленности.

Таблица Е.2 — Типичная таблица эталонного качества жидких химикатов для системы УЧВ

Компонент	Типичная концентрация, %	Содержание, не менее, %	Содержание, не более, %
$NaHSO_3$	10	5	15
NaOH	10	5,0	40
Na_2SO_3	0,5	—	2,0

Е.3 Требования к газам, применяемым в системах УЧВ

Е.3.1 Для систем УЧВ обычно требуются разные типы газов под давлением. Чаще всего — это сжатый сухой воздух, воздух для КИП, технический азот, азот высокой чистоты, кислород высокой чистоты, водород.

Е.3.2 Из всех перечисленных газов азот высокой чистоты имеет самый высокий потенциальный риск загрязнения УЧВ в связи с его большим объемом и критическим применением в работе системы УЧВ. Его качество должно соответствовать требованиям, перечисленным в таблице Е.3.

Таблица Е.3 — Типичная таблица эталонного качества газа N_2 для системы УЧВ

Компонент	Типичное значение	Содержание, не менее	Содержание, не более
N_2	Чистота 99,999 %	99,995 %	100 %
O_2	0,1 мг/л	—	1 мг/л
CO_2	0,1 мг/л	—	1 мг/л
CO	0,5 мг/л	—	2 мг/л
H_2	0,5 мг/л	—	2 мг/л

Приложение Ж
(обязательное)

Параметры исходной воды

Ж.1 Исходная вода должна быть охарактеризована по сезонам, температуре и происхождению.

Ж.2 Для подбора схемы СВП необходимо иметь данные о параметрах воды, приведенных в таблице Ж.1.

Таблица Ж.1 — Основные параметры исходной воды, необходимые для выбора оборудования водоподготовки и контроля его работы

Параметр	Единица измерения	Типичные значения	Примечание
Мутность	мг/л	<0,5	
Электропроводность	мкСм/см	<900	При 25 °С
pH	—	6,5—8,0	
Жесткость общая	мг-экв/л	0,5—3,5	
ООУ	мг/л	Не более 30	
ХПК	мгO_2/л	Не более 5	
Щелочность	мг-экв/л	1,5—4,0	
ОМЧ	КОЕ/100 мл	0—50	При 37 °С
Железо общее	мг/л	<0,1	
Кальций	мг/л	—	
Магний	мг/л	—	
Натрий	мг/л	—	
Марганец	мг/л	<0,05	
Алюминий	мг/л	<0,1	
Барий	мг/л	—	
Стронций	мг/л	<3	
Медь	мг/л	—	
Цинк	мг/л	<5	
Азот, аммонийный	мг/л N	<0,35	
Хлориды	мг/л	—	
Сульфаты	мг/л	—	
Гидрокарбонаты	мг/л	—	
Фториды	мг/л	<1,5	
Нитраты	мг/л	<20	
Фосфаты	мг/л	—	
Кремний общий	мг/л, по Si	<5	
Бор	мг/л	<0,5	
Галоген метаны	мг/л	<0,05	
Нефтепродукты	мг/л	<0,05	
Мочевина	мг/л	1—3	
«—» означает, что типичное значение очень вариабельно.			

Приложение И
(обязательное)

Резервирование оборудования системы водоподготовки

И.1 СВП УЧВ является критически важным оборудованием заводов по производству микроэлектроники. Перерыв в работе системы УЧВ может привести к остановке завода на длительный период времени. Системы получения УЧВ работают 24 ч в сутки 7 дней в неделю без остановок на ТО в течение многих лет.

И.2 Для предотвращения перерывов в подаче УЧВ или смягчения их последствий рекомендуется резервирование, основные положения которого представлены в таблице И.1. Коэффициент N в таблице обозначает минимальное общее количество однотипных единиц оборудования, необходимое для поддержания проектной мощности. N+1 означает, что в дополнение к N необходимо установить еще один блок, готовый к работе в случае выхода из строя одного из *N* блоков. Блоки не должны простаивать, их работа должна чередоваться, чтобы в них не было застоя воды.

И.3 Водоисточник на предприятии тоже должен быть резервирован на случай перебоя в водоснабжении. Как правило, предусматривают два независимых источника водоснабжения.

И.4 Если не существует двух надежных источников водоснабжения, минимальный рекомендуемый запас исходной воды должен обеспечить работу предприятия в течение 24 ч.

И.5 Объем емкости УЧВ должен обеспечивать минимальное время гидравлического удержания[1)] в течение 1 ч.

И.6 В таблице И.1 приводится примерный список основного оборудования. Он может отличаться на разных объектах. Конкретный список должен быть подготовлен организацией, выполняющей проектирование системы УЧВ.

Таблица И.1 — Сведения о резервировании оборудования СВП

Единицы оборудования	Потребность в частом обслуживании	Минимальный резерв	Рекомендации	Необходимость аварийного электропитания	Примечание
Предварительная очистка и стадия получения сверхчистой (подпиточной) воды					
Емкость исходной воды	Нет	N	Регулярный осмотр оператором	Н/п	Рекомендуется смонтировать байпас; объем емкости минимум на 1 ч работы
Насосы исходной воды	Нет	N+1	ТО агрегатов	Нет	Запасной насос на складе
Насосы для обратной промывки фильтров	Нет	N	Некритичное оборудование	Нет	Запасные части для ремонта, запасной насос
Фильтры с зернистой загрузкой (механическая фильтрация)	Да	N+1	ТО	Н/п	
Фильтры с зернистой загрузкой (активированный уголь)	Да	N+1	ТО	Н/п	
Установка ультрафильтрации	Да	N+1	ТО	Да	Запасные расходные материалы, мембранные элементы
Насосы для дозирования химических веществ	Нет	N+1	ТО	Нет	Запасной насос

[1)] Время гидравлического удержания представляет собой соотношение между рабочим объемом емкости и скоростью потребления. Это среднее время, в течение которого емкость будет обеспечивать водой точки потребления, если подача подпиточной воды прекратится.

Продолжение таблицы И.1

Единицы оборудования	Потребность в частом обслуживании	Минимальный резерв	Рекомендации	Необходимость аварийного электропитания	Примечание
Теплообменные аппараты	Нет	N+1	N+1 может не потребоваться на участке предварительной очистки, если температура исходной воды стабильна: (21 ± 3) °С	Н/п	Критично при сезонных колебаниях температуры, например, если зимняя температура воды <18 °С
Фильтры с зернистой загрузкой (ионообменные смолы)	Да	N+1	ТО	Н/п	
Оборудование для микрофильтрации перед обратным осмосом	Нет	N+1	ТО	Н/п	Запасные расходные материалы
1-я ступень УОО	Нет	N+1	ТО	Да	Запасные расходные материалы на складе
2-я ступень УОО	Нет	N+1	ТО	Да	Запасные расходные материалы
Декарбонатор/дегазация	Нет	N	Некритичное оборудование	Нет	Запасной модуль
Емкость частично обессоленной воды	Нет	N+1	Регулярный осмотр оператором	Н/п	Рекомендуемый объем хранения — на 1 час работы
Насосные агрегаты для перекачивания воды из емкости ЧОВ	Нет	N+1	ТО	Нет	
УФ 185 нм	Нет	N+1	ТО	Нет	Запасные лампы, кожухи кварцевые и пускатели
Электродеионизация	Нет	N+1	ТО	Нет	Запасной электроионитовый модуль
Фильтры с анионитом	Да	N+1	ТО	Н/п	
Фильтры смешанного действия	Да	N+1	ТО	Н/п	

Продолжение таблицы И.1

Единицы оборудования	Потребность в частом обслуживании	Минимальный резерв	Рекомендации	Необходимость аварийного электропитания	Примечание
Картриджные фильтры	Нет	N+1	ТО	Н/п	
Стадия получения УЧВ					
Емкость УЧВ	Нет	N+1	Регулярный осмотр оператором	Н/п	Резервированная подача азота; рекомендуемый объем должен обеспечивать минимум 1 час работы.
Насосы контура циркуляции УЧВ	Нет	N+1	ТО	Да	Запасной насос
Мембранная вакуумная дегазация	Нет	N+1	ТО	Н/п	Запасной модуль
Башенная вакуумная дегазация	Нет	N	Не требует обслуживания в течение длительного времени	Н/п	
Ультрафиолет 185 нм	Нет	N+1	ТО	Нет	Запасные лампы, кожухи кварцевые и пускатели
Фильтр смешанного действия (ФСД)	Нет	N+1	ТО	Н/п	
Вакуумный насос для дегазатора	Нет	N+1	ТО	Да	Запасной насос
Фильтры для удаления частиц	Нет	N+1	ТО	Н/п	Запасные сменные элементы
Вспомогательное оборудование					
Трубопроводы	Нет	N	Надежные	Н/п	
Перепускной клапан магистрали	Нет	N + байпас	Критический	Да	Обеспечить запасной
ПЛК (программируемый логический контроллер)	Нет	2N	Критический, 2-й на подхвате	Да	
Аналитическое оборудование и приборы					
Приборы активного контроля	Нет	N+1	ТО и контроль показаний	Да	pH, уровень, давление, температура
Кондуктометр	Нет	N	Установлен в контуре УЧВ	Да	Обеспечить контроль портативным прибором
Растворенный кислород	Нет	N		Да	Обеспечить контроль портативным прибором

Окончание таблицы И.1

Единицы оборудования	Потребность в частом обслуживании	Минимальный резерв	Рекомендации	Необходимость аварийного электропитания	Примечание
Растворенный азот	Нет	N		Да	Обеспечить контроль портативным прибором
Натрий	Нет	N		Да	Отбор проб для лабораторного определения
Растворенный кремний	Нет	N		Да	Отбор проб для лабораторного определения
Частицы	Нет	N		Да	Обеспечить контроль переносным резервным прибором
Нелетучий остаток NVR	Нет	N		Да	
ООУ (TOC)	Нет	N		Да	Обеспечить контроль переносным резервным прибором

Н/п — не применимо.

ТО — техническое обслуживание.

Примечания

1 Перечисленные в таблице приборы — это приборы, обычно используемые для контроля. Этот список не следует рассматривать как рекомендуемый перечень приборов. Решения о выборе типов, моделей и марок приборов, а также о том, как использовать получаемые с их помощью данные, должны принимать конечные пользователи.

2 Высокая частота технического обслуживания повышает риск простоя, что потенциально требует более высокого уровня резервирования. N+2 может потребоваться, если помимо регулярного технического обслуживания ожидаются крупные работы по техническому обслуживанию/ремонту.

3 В качестве альтернативы N+1 можно рассматривать резервирование по байпасам, то есть временно исключать из работы оборудование.

4 Для критических трубопроводов можно рассмотреть возможность частичного резервирования. Например, если основной трубопровод имеет диаметр DN300, он может быть спроектирован таким образом, чтобы две магистральные трубы DN200 в совокупности обеспечивали требуемый расход. В случае отказа каждый из этих трубопроводов будет обеспечивать 50 % всей потребности в УЧВ.

5 Участок получения УЧВ обычно имеет несколько точек подключения одного и того же аналитического оборудования (например, для измерения ООУ, удельного сопротивления и т. д.), которые также могут использоваться для целей резервирования путем их переключения от одной точки подключения к другой.

6 У каждого клапана с приводом, используемого в системе, положение в случае аварийной остановки (ОТКРЫТО или ЗАКРЫТО) должно быть таким, чтобы переход в это положение не вызывал никаких проблем и не усугублял последствия аварии. В некоторых случаях клапан может оставаться в своем последнем положении, если это допустимо для обеспечения нормального завершения процесса.

7 Запасные элементы, детали, оборудование должны храниться на складе в холодном резерве.

И.7 Электропитание

И.7.1 Системы УЧВ должны работать в течение нескольких лет без простоев. Для достижения такого уровня бесперебойной работы система УЧВ обеспечивается несколькими источниками электропитания. Эти источники обычно обозначаются как штатное электропитание, аварийный источник питания (АИП/EPS) и источник бесперебойного питания (ИБП/UPS).

И.7.2 Штатное электроснабжение системы должно быть достаточным для обеспечения максимального энергопотребления при полном объеме производства, с учетом работы всего оборудования, включая все установленные резервные системы. Штатное электроснабжение должно обеспечиваться из двух независимых источников.

И.7.3 Сведения для определения мощности АИП и ИБП

Для определения не штатной мощности АИП и ИБП необходимо учитывать, что эти источники питания должны, как минимум, обеспечивать бесперебойную работу участка получения и распределения УЧВ и систем управления, как показано в таблице И1. Предполагается, что при аварийном отключении электроэнергии СВП не будет потреблять много электроэнергии, однако циркуляция на участке финишной очистки и в контуре распределения должна продолжаться, чтобы сохранять высокую чистоту УЧВ.

Как минимум, несколько насосов, вся сеть ПЛК (программируемый логический контроллер) и аналитические приборы должны питаться от источников АИП и/или ИБП. Необходимо иметь, как минимум, две отдельные системы АИП и ИБП. Циркуляционные насосы могут быть подключены к АИП, поскольку они могут выдержать ~5-секундное прерывание питания. Резервные ПЛК должны быть сконфигурированы по схеме «ведущий-ведомый», чтобы обеспечить правильную работу, и должны быть подключены к ИБП. Системы управления должны работать от ИБП из-за длительного времени запуска после перезагрузки.

Приложение К
(рекомендуемое)

Требования к составу полимерных материалов, соприкасающихся с УЧВ

К.1 В этом приложении установлены минимальные требования к чистоте полимерных материалов и компонентов сверхвысокой чистоты, пригодных для транспортировки УЧВ в системах распределения (см. [11]).

К.2 Испытания, приведенные в настоящем приложении, предназначены для оценки загрязнения полимерных материалов трубопроводов и оборудования. Этапы сборки, такие как сварка и химическая очистка, могут добавить загрязняющие вещества. Влияние сборки выходит за рамки настоящего стандарта, но должно быть рассмотрено поставщиком или пользователем системы УЧВ.

К.3 Испытания проводят по одному из трех вариантов.

Вариант 1. Экстракция путем циркуляции УЧВ при температуре (85 ± 5) °С по контуру из испытуемых материалов с известной площадью поверхности в течение 170 ч.

Вариант 2. Экстракция из образцов материалов системы УЧВ, выполняемой при температуре (85 ± 5) °С в течение 170 ч. Образец может представлять собой часть исследуемого изделия, например, вырезанный кусок. Образец помещают во флакон и заливают известным объемом воды. В этом варианте испытания должна быть учтена вся площадь поверхности образца, контактирующая с водой.

Вариант 3. Используется для тестирования отмывки испытуемых материалов от частиц:

а) для испытания на частицы собирают контур, включающий арматуру, трубопроводы и любые другие компоненты системы распределения УЧВ и пропускают через контур ультрачистую воду при температуре от 15 °С до 25 °С. В сбросе фиксируют концентрацию частиц, отмечая объем УЧВ, необходимый для отмывки до критериев приемлемости, указанных в таблице К.1;

б) через контур, описанный в перечислении а), циркулирует УЧВ при температуре от 15 °С до 25 °С, при этом все клапаны должны периодически закрываться и открываться. После этого испытания рост концентрации частиц должен соответствовать критериям приемлемости, указанным в таблице К.1, причем не более, чем за указанное количество циклов «открытия-закрытия», «пуска-останова».

К.4 В таблице К.1 приведены типичные значения и пределы, которые отмечены в ходе испытаний нескольких образцов от различных производителей.

Таблица К.1 — Вклад частиц при испытании по варианту 3

Описание	Единицы	Размер частиц, мкм	PTFE или PFA
3-А)Тест на отмывку	Объем, необходимый для достижения < 0,1 частиц/мл	Размер частиц ≥0,1	≤300 л
3-Б) Циклическое тестирование: автоматическое циклическое тестирование арматуры и других компонентов системы распределения УЧВ	Количество циклов, необходимых для достижения < 100 частиц	Размер частиц ≥0,1	≤500 циклов
	Количество циклов, необходимых для достижения < 10 частиц	Размер частиц ≥0,1	≤10 000 циклов

К.5 В таблицах К.2, К.3, К.4 приведены максимально допустимые значения концентрации экстрагируемых загрязнителей в пересчете на 1 м^2 площади образца.

К.6 При планировании эксперимента следует выполнить проверочный расчет исходя из значений, приведенных в таблицах К.2—К.4, и объема УЧВ. Нужно вычислить необходимую минимальную площадь образца, который необходимо поместить в заданный объем воды, чтобы полученная концентрация загрязнителя, при условии ее соответствия таблицам К.1, К.3, К.4, надежно обнаруживалась аналитическими методами.

К.7 Значения, приведенные в таблицах К.2—К.4, получены из существующих баз данных по высокочистым ПВДФ и ПФА. Они представляют собой характеристики полимерных материалов и компонентов трубопроводных систем, которые в настоящее время обеспечивают конечным пользователям удовлетворительные результаты.

Таблица К.2 — Требования к экстрагируемому с поверхности ионному загрязнению

Ион	Содержание при 85 °С в течение 170 ч (мкг/м^2)
Бромид	≤100
Хлорид	≤3000
Фтор	≤60

Окончание таблицы К.2

Ион	Содержание при 85 °С в течение 170 ч (мкг/м^2)
Нитрат	≤100
Нитрит	≤100
Фосфат	≤300
Сульфат	≤300

Таблица К.3 — Требования к экстрагируемому с поверхности загрязнению ионами металлов

Элемент	Содержание при температуре 85 °С в течение 170 ч (мкг/м^2)
Алюминий	≤10
Барий	≤15
Бор	≤30
Кальций	≤20
Хром	≤1
Медь	≤15
Железо	≤5
Свинец	≤1
Литий	≤2
Магний	≤5
Марганец	≤5
Никель	≤1
Калий	≤15
Натрий	≤15
Стронций	≤0,5

Таблица К.4 — Требования к экстрагируемому с поверхности ООУ

Параметр	Содержание при температуре 85 °С в течение 170 ч (мкг/м^2)
ТОС	≤60

К.8 Поверхность оборудования из полимерных материалов, соприкасающихся с УЧВ, должна иметь параметры шероховатости не хуже приведенных в таблице К.5. Шероховатость следует определять профилометром, предварительно откалибровав его по эталонным образцам.

Таблица К.5 — Требования к шероховатости поверхности

Описание	Значение $Ra_{макс}$, мкм
Экструдированная труба (наружный диаметр <250 мм)	≤0,25
Экструдированная труба (наружный диаметр ≥250 мм, наружный диаметр ≤315 мм)	≤0,45
Литье под давлением (наружный диаметр <250 мм)	≤0,35
Литье под давлением (наружный диаметр от 250 до 315 мм)	≤0,50
Механическая обработка (наружный диаметр <250 мм)	≤0,60
Механическая обработка (наружный диаметр от 250 до 315 мм)	≤1,00

Библиография

[1]	ASTM D5127-13 Re 2018	Standard Guide for Ultra-Pure Water Used in the Electronics and Semiconductor Industries — Стандартное руководство для ультрачистой воды, используемой в электронной и полупроводниковой промышленности
[2]	SEMI F63-0521	Guide for ultrapure water used in semiconductor processing — Руководство по ультрачистой воде, используемой в производстве полупроводников
[3]	IRDS/ITRS	International roadmap for devices and systems™ 2023 update Yield enhancement/ International technology roadmap for semiconductor — Международная карта для приборов и систем 2023. Увеличение выхода годных изделий/международная дорожная карта технологий для полупроводников
[4]	ASTM D5544-16 (2023)	Standard Test Method for On-Line Measurement of Residue After Evaporation of High-Purity Water — Стандартный метод контроля для измерений он-лайн остатков после испарения высокочистой воды
[5]	Современная электроника № 4 2024 с. 50—51	Владимир Смирнов, Светлана Якименко. Частицы в ультрачистой воде
[6]	SEMI F121-0923	Guide for Evaluating Metrology for Particle Precursors in Ultrapure Wate» — Руководство по оценке метрологии для прекурсоров в ультрачистой воде
[7]	SEMI F61-0521	Guide to design and operation of a semiconductor Ultrapure water system — Руководство по проектированию и эксплуатации систем ультрачистой воды в производстве полупроводников
[8]	Технология чистоты № 4 2024 с. 15—21	Смирнов В.Б., Сафонова Д.А., Якименко С.И. Системы получения ультрачистой воды.
[9]	Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника 2(194). с.80—86	Смирнов В.Б., Сафонова Д.А., Якименко С.И. Системы получения ультрачистой воды.
[10]	SEMI C93-0217	Guide for Determining the Quality of Ion Exchange Resin Used in Polish Applications of Ultrapure Water System (Руководство по определению качества ионообменных смол, используемых на финишных стадиях в системах ультрачистой воды)
[11]	SEMI F57-0314	Specification for High Purity Polymer Materials and Components Used in Ultrapure Water and Liquid Chemical Distribution Systems (Спецификация ультрачистых полимерных материалов и компонентов, используемых в системах распределения ультрачистой воды и жидких химикатов)

УДК 66-93.006.354 ОКС 13.060.25

Ключевые слова: ультрачистая вода, деионизованная вода, сверхчистая вода, электронная промышленность, ионобменная смола, обратный осмос, ультрафильтрация, проводимость, общий органический углерод

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 21.03.2025. Подписано в печать 31.03.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 6,32.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru