

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРАКТИКИ СЧЕТА ЧАСТИЦ (В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТАМИ ИСО 14644 1-3)

Обзор подготовлен Е. С. Хозяшевой (ООО «Клинрум Инструментс») на основе реферата статьи Б. Беллоу (Fundamentals of particle counting, CleanRooms, March 2006) и материалам фирм-производителей

Когда покупатель собирается приобрести счетчик частиц, его обычно интересуют такие характеристики, как цена, качество, гарантийное и сервисное обслуживание. Но если счетчик частиц будет использоваться для подтверждения соответствия чистых помещений стандарту ИСО 14644, также должны учитываться и его функциональные качества. Наиболее важными техническими характеристиками счетчиков аэрозолей являются чувствительность и объемная скорость потока воздуха через прибор (л/мин, фут/мин), так как обе эти характеристики влияют на эффективность и время проведения измерения. В менее чистых зонах также необходимо учитывать величину предельно допустимой концентрации частиц в воздухе (для данного счетчика).

Для лучшего понимания этих характеристик нужно представлять себе принцип работы счетчика частиц в воздухе (см. рис. 1). Тонкая струя воздуха прокачивается через луч лазера, причем диаметр струи подбирается таким образом, чтобы в луче находилось, как правило, не более одной частицы. Свет, рассеянный частицей, собирается оптической схемой и направляется на фотоприемное устройство. Световые импульсы преобразуются фотоприемником в электрические импульсы, число которых будет соответствовать концентрации частиц (объем воздуха, прошедшего через измерительный объем, известен), а их амплитуда будет пропорциональна размеру частиц.

Чувствительность счетчика аэрозолей определяется наименьшим размером частиц, которые он может детектировать (сосчитать). Современные счетчики частиц, используемые для измерений в чистых помещениях, обычно имеют чувстви-

тельность 0,1 мкм; 0,3 мкм или 0,5 мкм (всюду под термином «размер» подразумевается диаметр частиц). Чем выше чувствительность счетчика частиц, тем более мелкие частицы он может обнаружить и, таким образом, сосчитать гораздо больше частиц. Это происходит потому, что в воздухе гораздо больше мелких частиц, чем крупных. Например, исходя из таблицы классов чистоты по стандарту ИСО, можно определить, что счетчик частиц с чувствительностью 0,1 мкм может обнаружить в 28 раз больше частиц размером более или равным 0,1 мкм, чем счетчик с чувствительностью 0,5 мкм может обнаружить частиц более или равных 0,5 мкм. Однако чем выше чувствительность прибора, тем выше и его цена. Кроме того, при выборе счетчика частиц следует в первую очередь принять во внимание специфические требования производства, размещенного в чистом помещении. Так, правила GMP для фармацевтических производств прямо указывают на то, что контролю подлежит концентрация частиц с размерами более 0,5 мкм и более 5 мкм.

Скорость пробоотбора счетчика частиц – это скорость, с которой насос прибора прокачивает воздух через измерительный объем прибора. Чем выше скорость пробоотбора, тем больший объем пробы воздуха будет прокачан через прибор и, соответственно, большее количество частиц пройдет через его измерительный объем. Как следствие, за определенный период времени будет накоплено больше данных о запыленности воздуха. Но если частиц в воздухе слишком много, но будет велика вероятность того, что в луч лазера попадет не одна, а сразу две или даже более частиц. Это приведет к искажению результатов измерений, так как такое событие будет сосчитано счетчиком как одна частица.

Исторически сложилось, что скорость пробоотбора счетчиков частиц, используемых для проведения измерений в чистых помещениях, имеет значение 0,1 CFM (кубических футов в минуту) и 1,0 CFM, что составляет 2,8 и 28,3 литров в минуту соответственно. Это связано с тем, что в широко применявшейся ранее классификации чистых помещений по американскому федеральному стан-

дарту 209D в основу было положено число частиц в одном кубическом футе.

С появлением в 2003 г. новой редакции GMP, значительно усилившей требования к контролю за содержанием частиц в воздухе чистых производственных помещений, стали выпускаться счетчики частиц со скоростью пробоотбора 2 CFM (56,6 л/мин) и 50 л/мин, а также значительно вырос уровень применения счетчиков со скоростью 1,0 CFM. Тем не менее, эти приборы, как и счетчики частиц с расходом в 1 CFM, относятся к классу портативных, так как имеют сравнительно небольшой вес и могут работать от аккумулятора.

Счетчики частиц со скоростью пробоотбора 0,1 CFM (2,8 л/мин) относятся к классу ручных приборов. Они отличаются компактностью (обычно их масса 1 кг и менее) и удобством использования, зачастую имеют датчик температуры/относительной влажности, возможность передачи данных в компьютер и встроенную обработку результатов измерений по действующим стандартам. Ручные счетчики аэрозолей широко используются во всем мире для оперативного контроля запыленности воздуха в чистых помещениях, для измерений в зонах класса ИСО 4 и выше, проверки правильности установки фильтров, поиска утечек. Ручные счетчики аэрозолей стали неотъемлемым рабочим инструментом инженеров по вентиляции и кондиционированию воздуха.

Но с помощью ручного счетчика нельзя провести аттестацию в помещениях классов ИСО 1-3, где требуется отбирать большие объемы воздуха. К примеру, прибор со скоростью пробоотбора 2,0 CFM или 50 л/мин может прокачать пробу воздуха 1 м³ (1000 л) за 18-20 мин, со скоростью 1,0 CFM – за 35,3 мин, а ручному счетчику частиц со скоростью пробоотбора 2,8 л/мин для этого потребуется 353 минуты. Именно поэтому в тех производствах, где руководствуются правилами GMP, новая редакция которых требует анализировать не менее 1 м³ воздуха, следует использовать счетчики частиц с расходом не менее 1 CFM.

Классы чистоты

Стандарт ИСО 14644 к настоящему времени стал доминирующим мировым

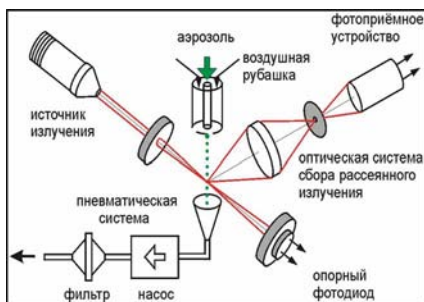


Рис. 1. Принципиальная схема лазерного счетчика частиц аэрозолей

Таблица 1
Классификация чистых помещений и чистых зон по стандарту ИСО 14644-1

Класс по ИСО	Класс по FS 209D	Предельно допустимая концентрация частиц (частиц/м³ воздуха), размер которых равен или превышает указанный в таблице					
		≥ 0,1 мкм	≥ 0,2 мкм	≥ 0,3 мкм	≥ 0,5 мкм	≥ 1 мкм	≥ 5,0 мкм
ИСО 1		10	2				
ИСО 2		100	24	10	4		
ИСО 3	1	1 000	237	102	35	8	
ИСО 4	10	10 000	2 370	1 020	352	83	
ИСО 5	100	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ИСО 6	1 000	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ИСО 7	10 000				352 000	83 200	2 930
ИСО 8	100 000				3 520 000	832 000	29 300
ИСО 9					35 200 000	8 320 000	293 000

стандартом по классификации чистоты воздуха в чистых помещениях. В табл. 1 показано максимально допустимое количество частиц (в м³) в зонах, соответствующих каждому классу чистоты по ИСО. Важно заметить, что каждый последующий класс имеет предельный уровень содержания частиц примерно в 10 раз выше, чем предыдущий. Таким образом, соотношение количества частиц разных размеров является примерно одинаковым для каждого класса. Например, для класса 4 допустимое содержание частиц размером 0,3 мкм и выше равняется 1020, а 0,5 мкм и выше – 352; для класса 5 допустимо наличие 10 200 частиц размером 0,3 мкм и выше, а для 0,5 мкм и выше – 3 520.

Объем пробы воздуха

Чтобы определить, какая чувствительность и время пробоотбора желательны для счетчика, который вы планируете использовать для измерений в вашем чистом помещении, вы должны рассчитать, какое количество воздуха необходимо отбирать за одно измерение и каким должно быть при этом время пробоотбора. В табл. 2 указан минимальный объем пробы воздуха (в м³),

который в соответствии с ИСО 14644-1 нужно отобрать в одной точке пробоотбора для каждого размера частиц.

Обычно для определения необходимого объема пробы воздуха и минимального времени пробоотбора используют соотношение, приведенные в ГОСТ Р ИСО 14644-1: величина V минимально необходимого объема пробы определяется по формуле

$$V = 20 / C_n \text{ (м}^3\text{)},$$

где C_n – предельно допустимая счетная концентрация аэрозольных частиц для данного класса чистоты (см. табл. 1), причем в любом случае минимальный объем пробы воздуха должен быть не менее 0,002 м³ (2 литров). Соответственно, минимальное время пробоотбора определяется как частное от деления величины V на объемную скорость пробоотбора, используемого при измерениях прибора, причем эта величина не может быть менее 1 минуты.

Другими словами, стандарт ИСО требует, чтобы в каждой точке производился пробоотбор достаточно больших объемов воздуха, и что при измерении в каждой точке нужно зарегистрировать

как минимум 20 частиц, что обеспечивает статистически достоверный результат измерений.

Время збора пробы

При определении минимально требуемого объема пробы в каждой точке пробоотбора нужно подсчитать время, которое потребуется данному счетчику для отбора этой пробы. В табл. 3-5 показаны результаты расчетов для счетчиков, имеющих скорость пробоотбора 1 CFM, 2 CFM и 0,1 CFM. Нужно отметить, что, как видно из таблиц, во многих случаях указано время пробоотбора 1 мин. Это минимальное время измерения в каждой точке по требованиям ИСО, даже если за это время счетчик аэрозолей прокачивает больше воздуха, чем минимально требуемый в данных условиях объем.

Статистически достоверный результат может быть получен относительно быстро в грязном помещении, а при измерениях в очень чистых зонах его получение занимает гораздо больше времени. Кроме того, статистически достоверный результат измерений можно получить быстрее, если использовать счетчик с высокой скоростью пробоотбора.

Таблица 2
Минимально необходимый объем пробы воздуха при измерении счетной концентрации частиц

Класс помещения		Минимально необходимый объем пробы воздуха (м³) при измерении частиц диаметром более				
ГОСТ Р ИСО 14644-1	GMP EC	0,1 мкм	0,2 мкм	0,3 мкм	0,5 мкм	5,0 мкм
ИСО 3		0,020	0,084	0,196	0,571	
ИСО 4		0,002	0,0084	0,0196	0,057	
ИСО 5		0,002	0,002	0,002	0,0057	0,690
ИСО 6		0,002	0,002	0,002	0,002	0,068
ИСО 7					0,002	0,0068
ИСО 8					0,002	0,002
	A	не установлено	не установлено	не установлено	1	1
	B	не установлено	не установлено	не установлено	1	1
	C	не установлено	не установлено	не установлено	1 (рекомендовано)	1 (рекомендовано)
	D	не установлено	не установлено	не установлено	не установлено	не установлено

Таблица 3

Минимально необходимое время проведения измерений счетной концентрации частиц с помощью счетчика аэрозолей со скоростью пробоотбора 2,8 л/мин (0,1 фут³/мин)

Класс помещения		Минимально необходимое время пробоотбора (мин) при измерении частиц диаметром более				
ГОСТ Р ИСО 14644-1	GMP EC	0,1 мкм	0,2 мкм	0,3 мкм	0,5 мкм	5,0 мкм
ИСО 3		7,2	30	70	204	
ИСО 4		1,0	3,0	7,0	20,4	
ИСО 5		1,0	1,0	1,0	2,1	246,5
ИСО 6		1,0	1,0	1,0	1,0	24,5
ИСО 7					1,0	2,5
ИСО 8					1,0	1,0
	A	не установлено	не установлено	не установлено	357,2	357,2
	B	не установлено	не установлено	не установлено	357,2	357,2
	C	не установлено	не установлено	не установлено	357,2 (рекомендовано)	357,2 (рекомендовано)
	D	не установлено	не установлено	не установлено	не установлено	не установлено

Таблица 4

Минимально необходимое время проведения измерений счетной концентрации частиц с помощью счетчика аэрозолей со скоростью пробоотбора 28 л/мин (1 фут³/мин)

Класс помещения		Минимально необходимое время пробоотбора (мин) при измерении частиц диаметром более				
ГОСТ Р ИСО 14644-1	GMP EC	0,1 мкм	0,2 мкм	0,3 мкм	0,5 мкм	5,0 мкм
ИСО 3		1,0	3,0	7,0	20,2	
ИСО 4		1,0	1,0	1,0	2,0	
ИСО 5		1,0	1,0	1,0	1,0	24,4
ИСО 6		1,0	1,0	1,0	1,0	2,4
ИСО 7					1,0	1,0
ИСО 8					1,0	1,0
	A	не установлено	не установлено	не установлено	35,4	35,4
	B	не установлено	не установлено	не установлено	35,4	35,4
	C	не установлено	не установлено	не установлено	35,4 (рекомендовано)	35,4 (рекомендовано)
	D	не установлено	не установлено	не установлено	не установлено	не установлено

Таблица 5

Минимально необходимое время проведения измерений счетной концентрации частиц с помощью счетчика аэрозолей со скоростью пробоотбора 56 л/мин (2 фут³/мин)

Класс помещения		Минимально необходимое время пробоотбора (мин) при измерении частиц диаметром более				
ГОСТ Р ИСО 14644-1	GMP EC	0,1 мкм	0,2 мкм	0,3 мкм	0,5 мкм	5,0 мкм
ИСО 3		1,0	1,5	3,5	10,1	
ИСО 4		1,0	1,0	1,0	1,0	
ИСО 5		1,0	1,0	1,0	1,0	12,2
ИСО 6		1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
ИСО 7					1,0	1,0
ИСО 8					1,0	1,0
	A	не установлено	не установлено	не установлено	17,7	17,7
	B	не установлено	не установлено	не установлено	17,7	17,7
	C	не установлено	не установлено	не установлено	17,7 (рекомендовано)	17,7 (рекомендовано)
	D	не установлено	не установлено	не установлено	не установлено	не установлено

Так, при проведении измерений счетчиком с чувствительностью 0,5 мкм и скоростью пробоотбора 1,0 CFM взятие пробы воздуха для получения статистически достоверного результата займет в каждой точке 20,2 мин в помещении класса 3 и 176,7 мин – в помещении класса 2. Сертифицировать таким счетчиком чистое помещение класса 1 невоз-

можно. Для сравнения: чтобы аттестовать с помощью ручного счетчика аэрозолей с чувствительностью 0,5 мкм и скоростью пробоотбора 0,1 CFM чистое помещение класса 3, понадобится 204 мин.

В чистых помещениях на фармацевтических предприятиях обязательно требуется за одно измерение отбирать пробу воздуха не менее 1 м³, что

(как было показано ранее) у приборов со скоростью пробоотбора 2,0 CFM и 50 л/мин займет 18-20 мин (табл. 5), а у прибора с 1,0 CFM – 35,4 мин.

Очень важно с технической и экономической точки зрения правильно выбрать счетчик, если вы намереваетесь с помощью одного прибора производить измерения в помещениях с разным

классом чистоты. Например, для помещений класса ИСО 4 подойдет любой счетчик со скоростью пробоотбора 1,0 CFM – измерение в одной точке будет занимать 1 мин. Но для чистых помещений класса 3 предъявляются более строгие требования. Так, счетчик с 0,1 мкм и 1,0 CFM может произвести измерение в одной точке за 1 мин, в то время как у счетчика с 0,3 мкм и 50 л/мин это займет 4 мин в каждой точке. Другим же счетчиком частиц потребуется гораздо больше времени для пробоотбора в помещении класса 3.

Сравнени счетчиков частиц

Если измерения (или ежедневный мониторинг) проводятся на предприятии часто и в большом количестве точек, снижение времени пробоотбора позволит сэкономить время, необходимое для проведения измерений, и обеспечит значительное снижение затрат на заработную плату обслуживающего счетчики персонала. Нужно заметить, что если мы хотим провести измерения для аттестации помещений классов ИСО 1-3, то должны использовать счетчик частиц с чувствительностью 0,1 мкм и скоростью пробоотбора не менее 1,0 CFM. А помещение класса ИСО 6 можно аттестовать практически любым счетчиком.

Если вы намереваетесь с помощью счетчика частиц проводить мониторинг в реальном времени или проводить поиск неисправностей, сначала нужно установить требования к счетчику частиц, необходимому для этой цели, затем подсчитать стоимость и количество измерений в год, которые потребуется проделать. К тому же нужно решить, насколько транспортабельным должен быть прибор. Если его планируется транспортировать на специальной тележке, то большого значения вес и размер не имеют, но стоимость тележки (или другого средства транспортировки) тоже нужно учитывать.

Если прибор планируется использовать для мониторинга в реальном времени, то следует учесть, каким образом будет организована передача данных измерения и какими будут затраты на организацию, установку и эксплуатацию системы мониторинга. Если вы планируете организовать мониторинг в помещении на основе портативного счетчика частиц, то потребуется приобрести универсальный коллектор, позволяющий последовательно производить отбор проб в нескольких точках (до 32 точек пробоотбора), а также дополнительные пробоотборные трубки для подсоединения коллектора к счетчику частиц и соединения коллектора с точками пробоотбора. При создании стационарной разветвленной системы мониторинга на основе датчиков частиц нужно учесть множество факторов, которые будут значительно влиять на общую стоимость

системы: во-первых, это стоимость самих датчиков; во-вторых, поскольку датчики сами не производят обработку сигнала, вам понадобится компьютер с сертифицированным программным обеспечением для накопления, обработки и предоставления информации (в режиме реального времени); в-третьих, может потребоваться системный контроллер (в зависимости от того, какой вид сигнала имеет датчик на выходе); в-четвертых, нужно учесть стоимость материалов для крепления датчиков, пробоотборных трубок к датчикам (если необходимо), а также шнуров питания приборов и системных кабелей. К тому же установка и проектирование такой системы – это трудоемкий и, соответственно, требующий дополнительных финансовых и временных затрат процесс.

Таким образом, выбор той или иной приборной базы должен быть экономически обоснован. Для каждого отдельного счетчика частиц или системы мониторинга можно сделать предварительный расчет затрат:

Предполагаемая полная стоимость = первоначальные затраты (стоимость прибора) + затраты на проведение измерений, т.е. связанные с эксплуатацией прибора + затраты на сервисное обслуживание.

Очень чистые помещения

Чистые помещения классов ИСО 1-3 являются чрезвычайно чистыми, и максимально допустимая концентрация частиц в них составляет от 10 до 1000 частиц в м³. Для измерений при таком уровне чистоты необходимо быть уверенным, что сам счетчик частиц не генерирует частицы.

Большинство счетчиков частиц имеют HEPA-фильтры на выходе потока воздуха из прибора, но для очень чистых помещений этого не достаточно. Вращательное движение насосов и вентиляторов может послужить причиной появления значительного количества частиц, которые находились внутри корпуса прибора. Эти частицы не переносятся с потоком анализируемого воздуха и не проходят через HEPA-фильтр на выходе прибора. Следовательно, для счетчика понадобится второй HEPA-фильтр, который будет защищать от частиц, попадающих в атмосферу из корпуса прибора.

Помещения с относительно загрязненным воздухом

Если счетчики частиц в воздухе используются в относительно грязной воздушной среде, то со временем загрязняющие частицы будут скапливаться на оптических частях прибора, и, следовательно, прибор уже не будет работать корректно. Если такой эффект происходит, пользователю следует время от времени прочищать прибор в течение

24 часов с помощью высокоэффективного (нулевого) фильтра, подсоединенного к входу прибора. Но лучше всего отдать счетчик аэрозолей на чистку специалистам сервисной службы.

Кроме того, на дисплее прибора могут появляться сообщения об «ошибках совпадений», т.е. результаты измерения уже не будут достоверными. Ошибка совпадений (наложение сигнала) случается, когда прибор ошибочно считает несколько маленьких частиц как одну большую. Следовательно, счетное количество крупных частиц становится очень большим, в то время как количество мелких частиц значительно снижается, хотя реально этого и не происходит.

Если Ваше чистое помещение сертифицировано по стандарту ИСО и соответствует классам 7 или 8, то, чтобы избежать проблем, связанных с насыщением (загрязнением) прибора, Вам следует использовать счетчик частиц с высоким уровнем максимально допустимой концентрации. Это значит, что такой прибор может работать при повышенных концентрациях частиц, и погрешность результата измерений вследствие ошибки совпадений не превысит 5% (по IIS).

В помещениях класса ИСО 9 в воздухе содержится так много частиц, что для большинства счетчиков потребуется дополнительно разбавление пробы. Например, счетчик с высокой чувствительностью – 0,1 мкм и скоростью пробоотбора 1,0 CFM может работать (без разбавителя) в помещениях классов ISO от 1 до 3. В помещениях классов 8 – 9 такой прибор будет фиксировать слишком много частиц и без предварительного разбавления работать не сможет.

Системы разбавления пробы (разбавители) разбавляют анализируемый воздух обычно в соотношении 1:10 или 1:100 и только потом подают его на вход счетчика аэрозолей. Соответственно, коэффициент разбавления необходимо учитывать при снятии показаний счетчика. На рис. 2 показана система разбавления пробы производства компании Topas GmbH (Германия).

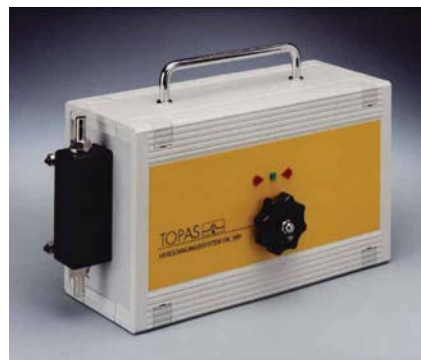


Рис. 2. Разбавитель аэрозольного потока DJL 550 фирмы Topas GmbH (Германия), обеспечивающий разбавление аэрозольного потока в отношении 1:100.

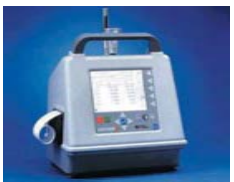
Таблица 5

Сравнительная таблица характеристик наиболее распространенных ручных счетчиков частиц со скоростью пробоотбора 2, 8 л/мин

												
Производитель, марка прибора		Lighthouse Handheld 3016	Met One HHPC-2	Met One HHPC-6	Met One 227B	Met One 228/229	PMS HandiLaz	Biotest APC Plus	Met One Instruments GT-521	IQ-Air Particle Scan CR	Kanomax Geo	Climet CI-20
Чувствительность		0.3 мкм (есть модель с 0,2 мкм)	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм
Число каналов		6	2	6	2	1	4	4	2	6	5	2
Пороги каналов		0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10 мкм (опция – до 25 мкм)	0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 5.0 мкм	0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 5.0 мкм	0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 мкм	0.3 или 0.5 мкм	0.3, 0.5, 1.0, 5.0 мкм	0.3, 0.5, 1.0, 5.0 мкм	0.3 - 5.0 мкм	0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 3.0, 5.0 мкм	0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 мкм	0.3, 0.5 мкм, или 0.5, 5.0 мкм
Дисплей		Сенсорный дисплей 1/4 VGA	2 строки LCD	6 строк LCD	4 строки LCD	1 строка LED	5 строк LCD	2 строки LCD	4 строки LCD	8 строк LED	4 строки LCD	4 строки LCD
Фон		<1 част/5 мин	<1 част/5 мин	<1 част/5 мин	<1 част/5 мин	не указано	<1 част/фут	не указано	не указано	не указано	<1 част/5 мин	<1 част/5 мин
Эффективность		50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	30%	30%
Предельная концентрация		4,000,000 част/2,8 л	2,000,000 част/2,8 л	2,000,000 част/2,8 л	2,000,000 част/2,8 л	2,000,000 част/2,8 л	500,000 част/2,8 л	1,5% при 100,000 част/2,8 л	3,000,000 част/2,8 л	2,000,000 част/2,8 л	2,000,000 част/2,8 л	5,000,000 част/2,8 л
Выходы		RS-232	RS-232	RS-232	RS-232	NONE	RS-232	RS-232	RS-232	RS-232	RS-232. RS485	RS-232. RS485
Нумерация точек пробоотбора		200 числовых или букв. меток	нет	8	100 чисел	нет	500 чисел	нет	нет	нет	нет	нет
Режимы счета		ручной, автоматический, дифф./интегр., концентрация, звуковой	ручной, концентрация	ручной, концентрация	ручной, автоматический, дифф./интегр., концентрация, звуковой	концентрация	ручной, автоматический, дифф./интегр., концентрация, звуковой	ручной, автоматический, концентрация	ручной, концентрация	концентрация	ручной, повторяющийся, непрерывный, режим вычислений	ручной, повторяющийся, непрерывный, режим вычислений
Память		3000, циклический буфер	100	500 (опция – 2000)	200, циклический буфер	нет	500, циклический буфер	200	4000	Нет (данные передаются в компьютер)	500	500
Обработка результатов	ISO 14644	да	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
	FS209	да	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
	BS 5295	да	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
	EC GMP	да	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Материал корпуса		Эл.стат. безопасный пластик ABS	Пластик ABS (не эл.стат. безопасный)	Пластик ABS (не эл.стат. безопасный)	Анодированный Al	Пластик ABS (не эл.стат. безопасный)	Пластик Kydex (не эл.стат. безопасный)	Окрашенный металл	Окрашенный металл	Пластик ABS (не эл.стат. безопасный)	Пластик ABS (не эл.стат. безопасный)	Нерж. сталь
Температура/ отн. влажность		Внешний датчик точность +/- 0.5°C +/- 2%RH	нет	Внутренний датчик точность +/- 3°C +/- 7%RH (опция)	Внешний датчик точность +/- 0.5°C +/- 2%RH (опция)							
Акк. батарея		Li-Ion	NiMH	NiMH	NiMH	NiMH	NiMH	Свинц.-кисл. акк.	Свинц.-кисл. акк.	Бытовая 9 В (2 шт.)	Бытовая AA (4 шт.)	Свинц.-кисл. акк.
Размер		22.23 x 12.7 x 6.35 см	11.43 x 20.96 x 5.72 см	11.43 x 20.96 x 5.72 см	10.3 x 17.5 x 5.9 см	10 x 19.7 x 4.1 см	22 x 100 x 55 мм	19.5 x 9.6 x 6.6 см	16.51 x 5.3 x 10.1 см	19.5 x 10 x 5.5 см	19.5 x 10 x 5.5 см	19.5 x 10 x 5.5 см
Вес, кг		1.0	1.0	1.0	0.97	0.65	1.0	1.1	0.737	0.55	0.950	1.43

Таблица 6

Сравнительная таблица характеристик наиболее распространенных портативных счетчиков частиц со скоростью пробоотбора 28 л/мин

						
Производитель, марка прибора	Lighthouse SOLAIR 3100+	Met One 3300	Biotest APC Portable P3610	PMS LasAir II 310	CliMet CI-550	Примечания
Чувствительность	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	0.3 мкм	
Число каналов	6	6	6	6	6	
Пороги каналов	0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 25.0 мкм	0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10.0 мкм	0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10.0 мкм	0.3, 0.5, 1.0, 5.0, 10, 25 мкм	0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10 мкм	
Фон	<1 част/5 мин	<1 част/5 мин	<1 част/5 мин	2.9 част/куб.фут	<1 част/5 мин	
Эффективность	50%	50%	30%	50% (+/-10%)	50% (+/-10%)	
Предельная концентрация	500,000 част/28 л	400,000 част/28 л	400,000 част/28 л	375,000 част/28 л	500,000 част/28 л	
Контроль скорости пробоотбора	По объему, саморегулируемый	Ручной	Внутренний	Внутренний	Внутренний	
Дисплей	Сенсорный Ж И 1/4 VGA Color	Ж И	Сенсорный	1/4 VGA Color Ж И (мембранный)	Сенсорный цветной	
Принтер	Термопринтер, встроенный	Термопринтер, встроенный	Термопринтер, встроенный (опция)	Термопринтер, встроенный	Термопринтер, встроенный	
Побудитель расхода	Роторный насос (Carbon Vane)	Турбинный насос (Roots Pump)	Роторный насос (Carbon Vane)	Вентилятор	Вентилятор	Вентиляторы и турбинные насосы не могут прокачивать длинные трубки и абсолютные фильтры мембранного типа
Максимальная длина пробоотборной трубки	37 м	15 м	30 м	4,5 м	4,5 м	
Время работы акк. батареи	3-4 час	4 час	4 час	3 час	5 час	
Время перезарядки акк. батареи	3 час (внутр./внешн.)	4 час	5 час	5-10 час (внутр.) 2-3 час (внешн.)	2 час	
Сменная батарея	да	да	нет	да	нет	
Выходы	RS-232 / 485 / MODBUS	RS-232 / 485	RS-232	Ethernet, RS-232	RS-232, RS485	
Нумерация точек пробоотбора	200 числовых или букв. меток	1000 числовых меток	1000 числовых или букв. меток	0 - 999 числовых или букв. меток	3000 числовых меток	
Режимы счета	ручной, автоматический, дифф./интегр., концентрация, звуковой	ручной, автоматический, дифф./интегр., звуковой	ручной, автоматический, концентрация	ручной, автоматический, дифф./интегр., концентрация, звуковой	ручной, автоматический, концентрация	
Hold Time	Programmable	Programmable	Programmable	Programmable	Programmable	
External Surface	Programmable	Programmable	Programmable	Programmable	Programmable	
Корпус	Нерж. сталь	Al с покрытием или нерж. сталь (опция)	Al с покрытием	Пластик (Kydex)	Нерж. сталь	Пластик (Kydex) не удовлетворяет промышленным стандартам по электростатической защите!
Обработка результатов	FS 209	да (встроенная)	да (встроенная)	да (встроенная)	да (встроенная)	
	BS 5295	да (встроенная)	нет	да (встроенная)	да (встроенная)	
	EC GMP	да (встроенная)	нет	да (встроенная)	нет	
	ISO 14644	да (встроенная)	нет	нет	нет	
Память	3000, циклический буфер	2000, циклический буфер	1000, циклический буфер	3000, циклический буфер	3000, циклический буфер	
Просмотр результатов из буфера	да	нет	нет	да	да	
Размер	31.75 x 20.32 x 22.23 cm	34 x 18 x 57 cm	30 x 30 x 20 cm	45 x 35 x 32 cm	25.4x 21 x 17.16 cm	
Вес, кг	6.7	7.1 Al 10.4 нерж. сталь	8.6	7	5	
Комплект поставки (без доплаты)	Принтер, бумага для принтера, абс. фильтр, изокинетич. пробоотборник, тренога, ПО	Принтер, бумага для принтера, абс. фильтр, изокинетич. пробоотборник, тренога, ПО	Изокинетич. пробоотборник, тренога, ПО	Принтер, бумага для принтера, абс. фильтр, изокинетич. пробоотборник	Абс. фильтр, изокинетич. пробоотборник, тренога, ПО	