



Применение обратного инжиниринга при разработке оборудования для проверки HEPA-фильтров на производстве

В. Д. Гнездилов, С. П. Куманев, В. Ю. Карпенко, А. К. Рыбаков, А. В. Господинов, ООО «ВЛАСЕПТИКА»

Введение

Высокоэффективные фильтры тонкой очистки класса EPA, HEPA и ULPA играют ключевую роль в обеспечении необходимого уровня чистоты воздуха на производстве. Для гарантии надежной работы таких фильтров важно проводить их испытания в соответствии с нормативной документацией [1–5]. Стандарты и требования к контролю качества очистки воздуха в чистых помещениях регулярно пересматриваются. Одним из базовых документов является комплекс стандартов ГОСТ Р EN 1822, который детально регламентирует классификацию высокоэффективных фильтров, методы их испытаний и критерии оценки эффективности.

Цель

Целью данной работы является анализ применения методов обратного инжиниринга при создании испытательного оборудования для проверки эффективности и целостности HEPA-фильтров на производстве. В статье рассматриваются принципы обратного инжиниринга и демонстрируется, как их использование позволило разработать отечественные приборы для испытаний HEPA-фильтров в соответствии с требованиями ГОСТ Р EN 1822.

Актуальность

Обеспечение качества HEPA-фильтров является критически важным, поскольку от этого зависит

поддержание требуемого класса в чистых помещениях. Стандарты серии ГОСТ Р ЕН 1822 устанавливают процедуры и критерии испытаний: фильтры должны обладать заданной эффективностью улавливания частиц наиболее проникающего размера и не иметь локальных утечек воздуха. В отечественной практике долгое время ощущалась нехватка современных установок для тестирования HEPA-фильтров, соответствующих стандарту. Импортные установки были крайне дорогими, а в последние годы их поставки ограничены. Применение обратного инжиниринга стало одним из ключевых подходов, позволивших сократить цикл разработки, используя имеющийся опыт разработки методик и устройств, и тем самым вывести на рынок оборудование для проверки фильтров.

Описание стандарта ГОСТ Р ЕН 1822 и требования к испытаниям

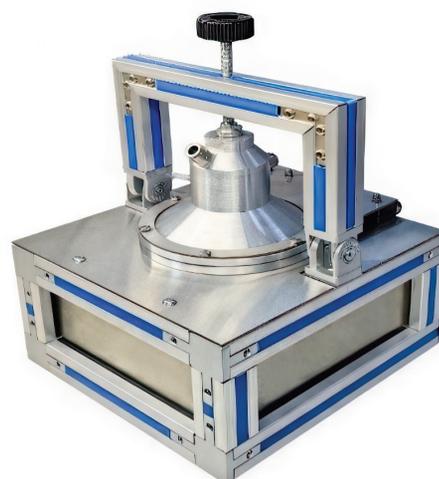
ГОСТ Р ЕН 1822 «Высокоэффективные фильтры очистки воздуха EPA, HEPA и ULPA» представляет собой многочастный стандарт, определяющий классификацию фильтров по эффективности и методы их испытаний. Таким образом, стандарты серии ГОСТ Р ЕН 1822 задают как количественные методы испытаний (с высокоточной аппаратурой), так и более простые визуальные методы, требуя при этом наличия специализированного оборудования для их реализации.

Принципы обратного инжиниринга и их применение

Обратный инжиниринг – это процесс исследования существующего изделия или технологии с целью извлечения конструктивной и функциональной информации для воспроизведения или улучшения данного изделия. В контексте разработки испытательного оборудования обратный инжиниринг предполагает детальный анализ доступных прототипов и описаний методик испытаний, чтобы на их основе спроектировать собственное устройство, удовлетворяющее тем же требованиям. При создании оборудования для проверки HEPA-фильтров методология обратного инжиниринга позволила существенно ускорить разработку ТЗ и проектирование изделия.

Опыт разработки отечественного испытательного оборудования по ГОСТ Р ЕН 1822

Для выполнения испытаний плоских образцов фильтрующего материала (ГОСТ Р ЕН 1822-3-2012)



■ Рис. 1. Прибор с ручным прижимом KitAseptica ISO 1822®

был создан прибор с ручным прижимом KitAseptica ISO 1822® (рис. 1) [6]. Эта установка представляет собой испытательную камеру, состоящую из подвижной верхней секции и фиксированной нижней секции, между которыми размещается образец фильтрующего материала площадью 100 см² согласно стандарту. Механизм обеспечивает герметичный прижим образца; через образец прокачивается аэрозоль от генератора, а измерения концентрации частиц происходят до и после образца, как и перепада давления. Проведение большого числа испытаний затруднено из-за ручного прижима фильтрующего материала.

Следующим шагом развития стало создание автоматизированного испытательного стенда ИС-ФМ (испытательный стенд для фильтрующих материалов) (рис. 2). Стенд вобрал в себя все необходимые компоненты для проверки фильтров и предназначен



■ Рис. 2. Полуавтоматический испытательный стенд ИС-ФМ для проверки плоских фильтрующих материалов

Таблица 1
Сравнение основных характеристик испытательного оборудования различных производителей (DEHS – диэтилгексилсебацинат)

Производитель	Типы фильтров	Класс фильтра	Размер фильтра (мин/ макс), мм	Туман	Скорость тумана, л/мин	Размеры устройства, мм	Цена, долл.
1	Плоский, V-образный	E10–H14	300×300×30 / 1200×700×300	DEHS	210	2080×920×2020	11 983
2	Плоский, V-образный	H13–H14	305×305×30 / 915×800×300	DEHS	50–600	1200×610×910	–
3	Плоский	H13–H14	305×305×30 / 915×800×300	DEHS	200	–	–

для серийных испытаний образцов фильтрующего материала.

Маркетинг

В рамках разработки прибора для визуального контроля протечки HEPA-фильтров мы ориентируемся на модель маркетинг-микса 4P, которая позволяет системно выстроить стратегию выведения оборудования на рынок и обеспечить его конкурентоспособность (рис. 3).

Product (продукт). Разрабатываемое устройство будет представлять собой средних размеров функциональный прибор, обеспечивающий визуальную проверку целостности HEPA-фильтров с использованием масляной струйки, в строгом соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р ЕН 1822-4 (Приложение А).

Price (цена). Благодаря локализации производства прибор будет иметь цену значительно ниже импортных аналогов (на 30–50 % дешевле в зависимости от конфигурации).

Place (место). Продвижение будет ориентировано на изготовителей HEPA-фильтров и заказчиков,

которым необходима проверка непосредственно на производстве или в лаборатории.

Promotion (продвижение). Продвижение прибора будет опираться на демонстрации на отраслевых мероприятиях, публикации в журналах, цифровой маркетинг.

На данный момент представлено несколько моделей оборудования, предназначенного для проверки HEPA-фильтров методом визуального контроля с использованием масляной струйки. Среди наиболее известных решений можно выделить модели китайского (1), немецкого (2) и турецкого (3) производства и др. Эти приборы демонстрируют широкий диапазон характеристик: от базовых моделей с ручным управлением и ограниченными функциями до более продвинутых установок с автоматическим контролем параметров аэрозоля и встроенными измерительными системами (табл. 1).

Проведенное маркетинговое исследование выявило, что указанные установки, несмотря на свое техническое совершенство, имеют ряд ограничений. Например, некоторые приборы ориентированы только на определенные типоразмеры фильтров, а часть решений предполагает высокую стоимость и трудности с поставками на территорию РФ. Кроме того, многие устройства имеют громоздкие габариты или требуют значительных усилий при обслуживании.

Мы стремимся создать оборудование, адаптированное под отечественные условия, обеспечивающее:

- универсальность в работе с различными типоразмерами фильтров;
- компактность, мобильность и простоту эксплуатации;
- конкурентоспособную цену;



Рис. 3. Маркетинг-микс 4P

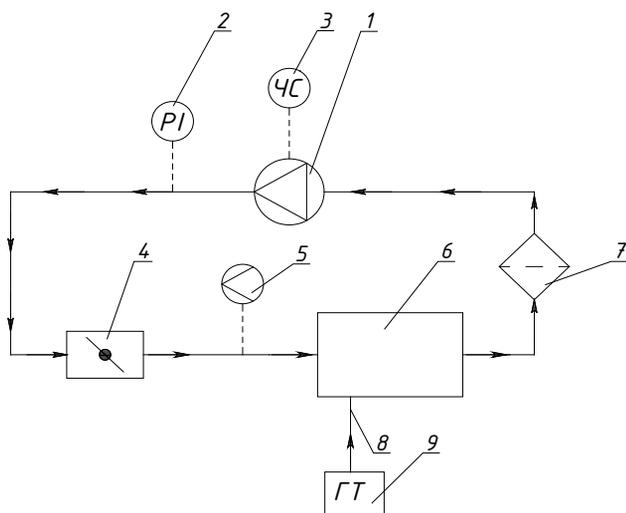


Рис. 4. Принципиальная схема стенда проверки HEPA-фильтров: 1 – воздуходувка вихревая; 2 – датчик давления; 3 – частотный регулятор; 4 – заслонка для регулирования потока воздуха; 5 – расходомер воздуха; 6 – область смешения аэрозоля; 7 – тестируемый фильтр; 8 – ввод аэрозоля в воздуховод; 9 – генератор тумана

- возможность обслуживания на территории РФ.

Учитывая вышеизложенное и требования по ГОСТ Р ЕН 1822-4 (Приложение А), в настоящее время нашей компанией ведется разработка нового прибора для оперативной проверки целостности готовых HEPA-фильтров методом масляной струйки. На данный момент разработано ТЗ, в котором указаны характеристики испытательного стенда, нарисована принципиальная схема стенда (рис. 4), выбраны вентиляторы для прокачки аэрозоля через фильтр. Основные пункты ТЗ выделены далее.

- Прибор может быть выполнен так, чтобы можно было анализировать плоский, цилиндрический или V-образный HEPA-фильтр (класс H-13, H-14).
- Фильтр должен устанавливаться горизонтально.
- Зона наблюдений должна быть защищена от неконтролируемых потоков воздуха из окружающей среды.
- Яркость ламп должна превышать 1000 лк в рабочей плоскости, зона вокруг фильтра должна быть освещена строго сверху.
- Фон должен быть выполнен строго черным для обеспечения визуального контроля.
- В качестве генератора аэрозольных частиц может служить генератор тумана KitAseptica FOG GEN® C.

- Прибор должен быть изготовлен «под ключ» (разработка, изготовление, пусконаладка, первичная аттестация).
- Средства измерения должны быть поверены, иметь свидетельство о поверке и быть включены в Госреестр средств измерений.
- Площадь фильтрующего материала для данного фильтра составляет $S = 23,9 \text{ м}^2$, производительность фильтра $N = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$, а скорость потока воздуха через фильтрующий материал $v = 0,013 \text{ м/с}$.
- Объемный расход воздуха, который нужно минимально подавать на фильтр, составляет: $V = S \cdot v = 23,9 \cdot 0,013 = 0,311 \text{ м}^3/\text{с} = 1118,520 \text{ м}^3/\text{ч}$.
- Сопротивление фильтра составляет 100–200 Па, соответственно, минимальный поток воздуходувки составляет $1350\text{--}1580 \text{ м}^3/\text{ч}$.

До конца года мы планируем разработать все чертежи и провести сборку данного стенда.

Заключение

Применение методов обратного инжиниринга при создании оборудования для испытания HEPA-фильтров показало свою эффективность на практике. В дальнейшем накопленный опыт может быть использован для создания нового испытательного оборудования. У данной статьи планируется вторая часть, которая выйдет после разработки и сборки испытательного стенда на проверку HEPA-фильтров методом масляной струйки по ГОСТ Р ЕН 1822-4-2012 (Приложение А). ●

Литература

1. ГОСТ Р ЕН 1822 (Части 1–5) «Высокоэффективные фильтры очистки воздуха EPA, HEPA и ULPA».
2. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
3. ГОСТ Р ЕН 779-2014 «Фильтры очистки воздуха общего назначения. Определение технических характеристик».
4. ГОСТ 56638-2018 «Вентиляция и кондиционирование воздуха. Общие требования».
5. ГОСТ 29463-3-2024 «Высокоэффективные фильтры и фильтрующие материалы для удаления частиц из воздуха. Часть 3. Испытания плоского фильтрующего материала».
6. aseptica.biz