

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 54.05

Б.И. Огородников, В.И. Скитович, В.И. Хабаров, А.Г. Шарапов

ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОНОМНОГО ИЗОКИНЕТИЧЕСКОГО ПРОБООТБОРНИКА АЭРОЗОЛЕЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА

Изокинетический пробоотборник аэрозолей (ИПА) относится к классу автономных приборов, используемых при мониторинге атмосферных загрязнений. В прибор воздух попадает за счет скоростного напора ветра и разрежения, создаваемого двухлопастным пропеллером (ветроколесом), вращающимся под воздействием ветрового потока. Аэрозоли оседают на фильтре. Исследование влияния сопротивления фильтра на величину m (отношение скоростей набегающей воздушной массы и потока в проточной части) проведено в аэродинамической трубе Т-30 в ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского. Были использованы фильтроматериалы со стандартным сопротивлением $[\Delta P]$ от 2,3 до 48 Па. Скорости набегающего потока составляли $2 \div 25$ м/с. Минимальные расходы воздуха были зарегистрированы для материала с $[\Delta P] = 48$ Па. В диапазоне скоростей ветра $5 \div 15$ м/с через него проходило на 20–25% меньше воздуха, чем в приборе без фильтра, и на 12–14% меньше, чем через материал ФПП-15-1,6 с $[\Delta P] = 16$ Па. Изокинетичность ($m = 1$) наблюдается для материала ФПП-15-1,6 при скоростях ветра $V = 10 \div 25$ м/с. При меньших V значение m убывает, достигая 0,8 при 5 м/с. Для материала с $[\Delta P] = 48$ Па в диапазоне $3 \div 15$ м/с величина $m < 1$, причем при $2,5 \div 7,5$ м/с m практически совпадает со значениями, полученными для фильтроматериала с $[\Delta P] = 16$ Па. У материалов, имеющих $[\Delta P] < 10$ Па, в диапазоне скоростей $5 \div 25$ м/с $m < 1$.

Изокинетический пробоотборник аэрозолей (ИПА) предназначен для контроля загрязненности атмосферного воздуха путем отбора аэрозолей (радионуклидов, пыли, химических веществ и т.п.) на фильтрующий элемент с целью последующего определения их активности, количественного и качественного содержания. Изокинетичность (равенство скоростей ветра в атмосфере и потока во входном канале ИПА) обеспечивает неизменность относительного содержания частиц в исследуемой атмосфере и в воздухе, поступающем в прибор (рис. 1).

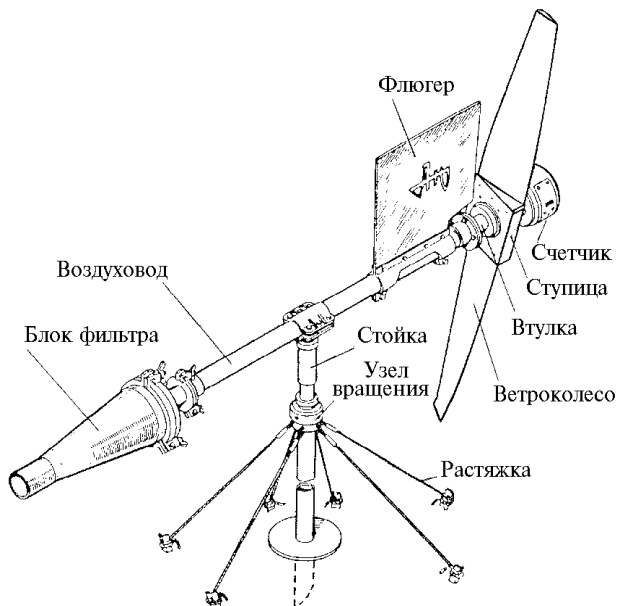


Рис. 1. Схема изокинетического пробоотборника аэрозолей

ИПА – автономное средство, использующее энергию ветра для привода пропеллера (ветроколеса), выполняющего функцию центробежного насоса. Его лопасти выполнены полыми, а концы их срезаны. Механический счетчик оборотов позволяет определить объемное количество воздуха, прошедшего через фильтр.

Воздух поступает в прибор через входной канал диаметром 50 мм. Аэрозоли оседают на фильтре, закрепленном на коническом фильтродержателе с диаметром у основания 100 и длиной образующей 270 мм. Очищенный воздух проходит по отводному каналу диаметром 35 и длиной 1000 мм и поступает в полые лопасти (длина 500 мм) ветроколеса со срезанными концами для выхода в атмосферу. Отводной канал и ветроколесо соединяются ступицей и втулкой, в каждой из которых имеются пять отверстий диаметром 18 мм. При вращении ветроколеса воздух под действием центробежной силы выбрасывается через срезы лопастей в атмосферу. Чтобы проточный канал, закрепленный через подшипник на опоре, был развернут по ветру, на отводном канале размещен флюгер. Сечение входного канала выбрано так, чтобы скорость течения в нем была близка к скорости ветра (скорости набегающего потока) и тем самым выполнялось главное условие изокинетичности отбора аэрозолей [3]. Более подробно описание ИПА представлено в [2].

Приборы ИПА были изготовлены на авиационном предприятии АНТК им. Антонова. Расходные характеристики определены для фильтрующего материала ФПП-15-1,5, который в форме конуса площадью $0,04$ м² размещен на фильтродержателе и с помощью резинового кольца закреплен у основания конуса. При длительном пробоотборе (иногда до 1 мес), высокой запыленности воздуха, туманах, дождях и снегопадах на фильтре накапливаются большие количества жидких и твердых аэрозолей, что приводит к увеличению его сопротивления. Это может изменить соотношения скоростей набегающей воздушной массы и потока в

Характеристики автономного изокинетического пробоотборника аэрозолей

проточной части прибора, т.е. коэффициента изокинетичности m .

Исследование влияния сопротивления фильтра на величину m проведено в аэродинамической трубе Т-30 в ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, имеющей открытую рабочую часть и диаметр сопла 1,2 м.

Гидродинамические характеристики ИПА определяли в наземных условиях при скоростях набегающего потока $V = 2 \div 25$ м/с.

Давление воздуха в трубе зависит от атмосферного и равно 746 ± 5 мм рт.ст. при температуре 315 ± 3 К. Время работы на одном режиме не превышало 2 мин. За один запуск трубы снимали показания ИПА на восьми режимах скоростей V .

Зависимости объемного расхода воздуха Q , коэффициентов изокинетичности m , давлений в канале и их пульсаций от скорости набегающего потока определены для шести фильтров, отличающихся гидравлическим сопротивлением и диаметрами волокон. Используются материалы ФПП-15 со стандартным сопротивлением (сопротивлением воздушному потоку со скоростью 1 см/с) 1,6; 3,2 и 4,8 мм вод. ст и ФПП-70 со стандартным сопротивлением 0,23; 0,53 и 1,06 мм вод.ст. Для оценки максимально возможных расход-

ных характеристик ИПА и коэффициентов изокинетичности проведены продувки без фильтра.

Результаты испытаний обработаны в соответствии с данными работ [4 – 6]. Из анализа представленных на рис. 2 результатов следует, что для всех шести фильтров объемный расход воздуха через ИПА возрастает по мере увеличения скорости набегающего потока. В диапазоне скоростей $5 \div 25$ м/с эта зависимость практически линейная. При одинаковых V расход воздуха через ИПА тем меньше, чем больше стандартное сопротивление фильтра.

Среди испытанных фильтров наибольшее стандартное сопротивление (4,8 мм вод.ст.) имел материал ФПП-15-4,8. Из рис. 2 видно, что при его размещении в ИПА расходы воздуха оказались самыми низкими: в диапазоне $5 \div 15$ м/с объемы воздуха, проходившие через ИПА, были на 20–25% меньше, чем в приборе без фильтра. Однако по сравнению с материалом ФПП-15-1,6 это снижение расхода было менее значительным и не превышало 12–14%. При размещении в ИПА как материалов с малым, так и большим стандартным сопротивлением потери давления, приходящиеся на фильтр, составляют лишь небольшую долю от общего гидравлического сопротивления канала.

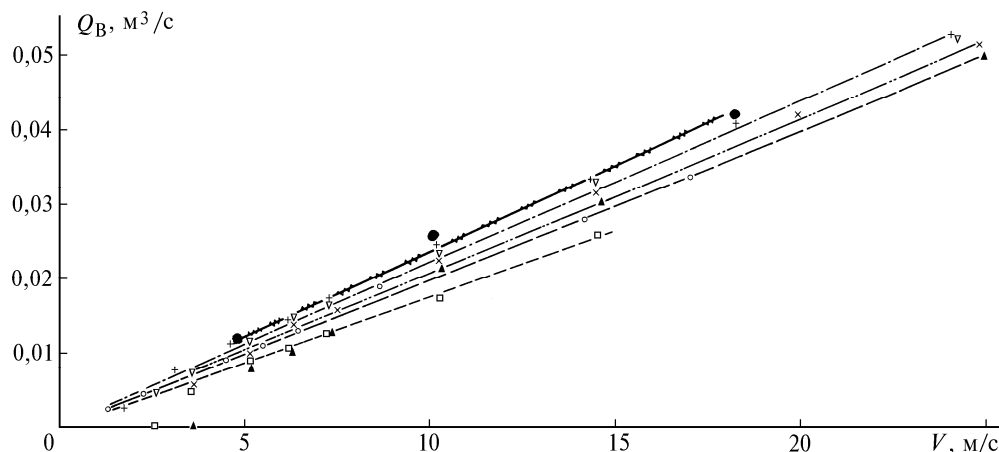


Рис. 2. Зависимость расхода воздуха Q_v во входном канале изокинетического пробоотборника аэрозолей от скорости набегающего потока V при использовании различных фильтрующих материалов: ●, (V V) – без фильтра; ×, (– · –) – ФПП-70-1,06; +, (– –) – ФПП-70-0,23; ∇, (– · –) – ФПП-70-0,53; Δ, (– –) – ФПП-15-1,6; ○, (—) – ФПП-15-3,2; □, (– –) – ФПП-15-4,8

Если при работе ИПА в натуральных условиях накопление пыли, тумана, снега на штатном материале ФПП-15-1,5 приводит к трехкратному увеличению стандартного сопротивления, то в первом приближении можно считать, что расход воздуха уменьшится к концу пробоотбора подобно тому, как получено при продувках прибора с фильтром ФПП-15-4,8.

Коэффициент изокинетичности ИПА и любого аспирационного устройства в соответствии с понятиями механики аэрозолей [3] представляет собой отношение скорости воздушного потока в плоскости входа воздухозаборника к скорости набегающего потока $m = V_{\text{в}}/V$. Изокинетическому отбору аэрозолей соответ-

ствует $m = 1$. В этом случае погрешности аспирации незначительны.

Величины m , рассчитанные по результатам продувок ИПА с различными фильтрующими материалами и одной продувки без фильтра, представлены на рис. 3. Максимальное значение $m = 1,28$ получено при скорости набегающего потока 10 м/с при отсутствии фильтра. Использование любого фильтра из испытанных фильтров, даже с самым минимальным стандартным сопротивлением, приводит к уменьшению m по сравнению с тем, что получают при продувке без фильтра.

Практически полная изокинетичность ($m = 1$) наблюдается только для материала ФПП-15-1,6 в

диапазоне $V = 10 \div 25$ м/с. При меньших скоростях величина m для этого материала уменьшается, достигая при 5 м/с значения 0,8. Для двух других материалов ФПП-15 со стандартными сопротивлениями 3,2 и 4,8 мм вод.ст. во всем диапазоне исследованных скоростей 3–15 м/с величины $m < 1$. Причем при скоростях 2,5–7,5 м/с значения m практически совпадают с теми значениями, которые получены для материала ФПП-15-1,6.

Для трех материалов ФПП-70, имеющих существенно меньшее стандартное сопротивление, чем штатный материал ФПП-15-1,6, в диапазоне скоростей 5–25 м/с значения коэффициента изокINETИЧНОСТИ больше 1. Максимальные m , как и при продувках канала без фильтра, наблюдаются при скоростях ~ 10 м/с. Для максимально достигнутых скоростей 25 м/с значения m не более чем на 5–8% отличаются от 1, т.е. практически соответствует изокINETИЧЕСКИМ условиям отбора аэрозольей. Такой же режим отбора аэрозольей на-

блюдается при скоростях 3–5 м/с, а при меньших коэффициент изокINETИЧНОСТИ ниже 1 и резко убывает при уменьшении скорости потока.

При пробоотборе отклонения величины коэффициента изокINETИЧНОСТИ в сторону увеличения должны приводить к искажениям в спектре аэрозольей, попадающих в воздухозаборный канал и далее на фильтр. Результаты расчетов коэффициентов аспирации аэрозольей A , представляющих отношение концентрации частиц определенного размера в потоке на входе в канал C_v к концентрации таких же частиц в свободном (набегающем) потоке C , приведены на рис. 4 для различных значений m . Расчеты выполнены в соответствии с данными работы [7]. Как следует из кривых, представленных на рис. 4, в диапазоне значений m , полученных при продувках ИПА, наиболее существенные потери в 2 раза и более наблюдаются при $m = 0,5$ для частиц с аэродинамическими радиусами свыше 10 мкм.

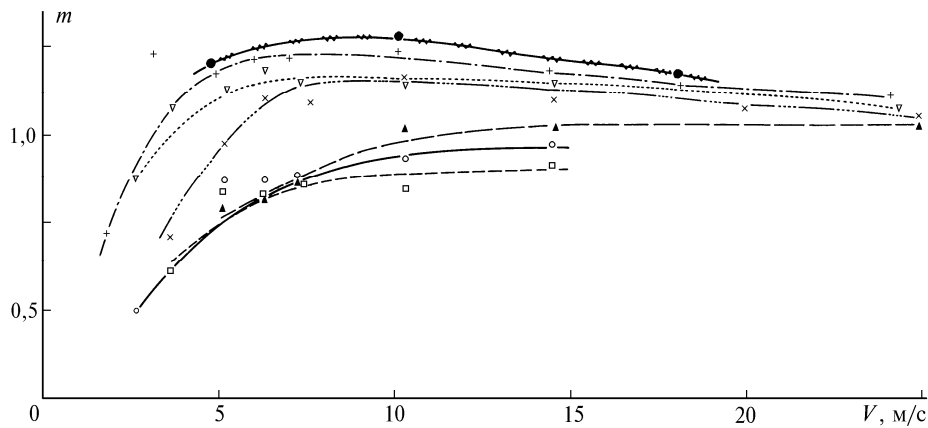


Рис. 3. Зависимость коэффициента изокINETИЧНОСТИ m от скорости набегающего потока V при использовании различных фильтрующих материалов: ●, (—V—V—) — без фильтра; ×, (—·—·—) — ФПП-70-1,06; +, (—'—) — ФПП-70-0,23; ∇, (...) — ФПП-70-0,53; Δ, (---) — ФПП-15-1,6; ○, (—) — ФПП-15-3,2; □, (---) — ФПП-15-4,8

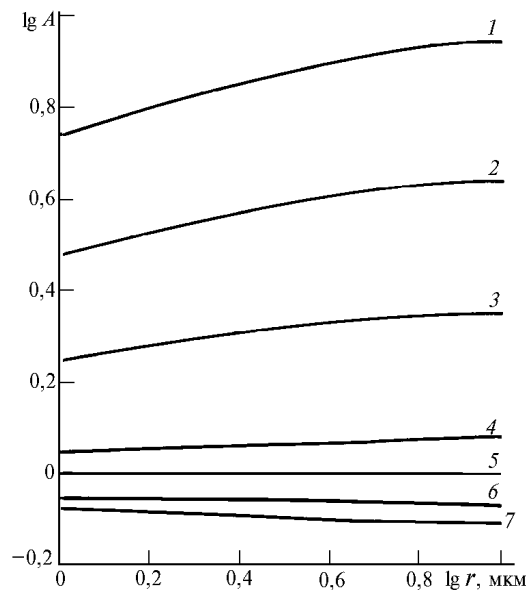


Рис. 4. Зависимость коэффициента аспирации аэрозольей A от радиуса частиц r для различных значений коэффициента изокINETИЧНОСТИ m : 1 — 0,1; 2 — 0,2; 3 — 0,4; 4 — 0,8; 5 — 1,0; 6 — 1,2; 7 — 1,3

В начале 1987 г. для контроля состава и концентраций радиоактивных газоаэрозольных продуктов аварии IV блока ЧАЭС в 30-километровой зоне установлены 72 безаспирационных пробозаборника ПБ-1, разработанные в НИФХИ им. Л.Я. Карпова [1]. Несколько позже специалисты Министерства обороны СССР развернули еще одну сеть автономных приборов, применив около 100 изокинетических пробоотборников аэрозолей (ИПА) [2]. Использование приборов ПБ-1 и ИПА для непрерывного отбора проб позволило вести мониторинг радиоактивных продуктов из приземного слоя атмосферы в 30-километровой зоне примерно в 200 стратегически важных точках, порой удаленных от источников электропитания на многие километры. Простота в обслуживании пробозаборников (съем и установка фильтров, определение количества профильтрованного воздуха) исключают использование большого количества квалифицированных исполнителей.

Помимо стационарной сети приборы ПБ-1 и ИПА размещали на автомашинах (на крыше «Жигу-

лей» и в кузове ЗИЛ-130), что позволило использовать их для контроля за радиоактивными аэрозолями на основных транспортных магистралях 30-километровой зоны, вокруг промплощадки ЧАЭС, в городах Припять и Чернобыль.

1. Организация сети контроля атмосферного воздуха в 30-километровой зоне ЧАЭС с помощью пробоотборника ПБ-1 /П.И. Басманов, А.К. Будыка, Е.Н. Гридина и др. // М.: НИИТЭХИМ, 1992. С. 9 – 16. (Охрана окружающей среды, вопросы экологии и контроль качества продукции: Научн.-техн. реф. сб., вып.3).
2. А.с. 930048 СССР, МКИ G 01 N 1/22.
3. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
4. Павловский Н.Н. Основы гидравлики. Собрание сочинений. Т. 1. М.;Л.: АН СССР, 1955.
5. Мельников А.П. Основы теоретической аэродинамики. Л.: ЛКВВИА, 1953.
6. Поев И.Л. Техническая гидродинамика. М.: Машиностроение, 1976.
7. Беляев С.П. Экспериментальное исследование аспирации аэрозолей: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Институт экспериментальной метеорологии. Обнинск, 1971.

Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, г. Москва

Поступила в редакцию
25 апреля 1997 г.

B.I. Ogorodnikov, V.I. Skitovich, V.I. Khabarov, A.G. Sharapov. Characteristics of Independent. Isokinetic Aerosol Sampler in Wide Range of Wind Velocities.

Isokinetic aerosol sampler (IAS) is an independent device for monitoring of atmospheric pollutions. It has a propeller which rotates in wind flow and sucks the air. As a material, the Petrianov's filters are used. Pressure resistance of the filter increases with dust loading, and the isokinetic coefficient may change. The isokinetic sampling of aerosols takes place at $m = 1$. The IAS was investigated in wind tunnel at the flow velocity $2 \div 25$ m/s. The filter area was 0.04 m². It was established that $m = 1$ takes place for the filter material FPP-15-1.6 only within the flow velocity interval of $10 \div 25$ m/s.