

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).

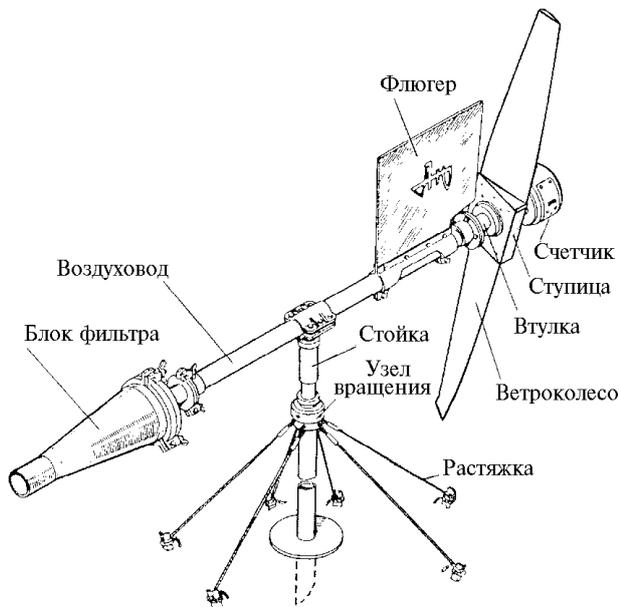


Рис. 1. Схема изокинетического пробоотборника аэрозолей

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

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.

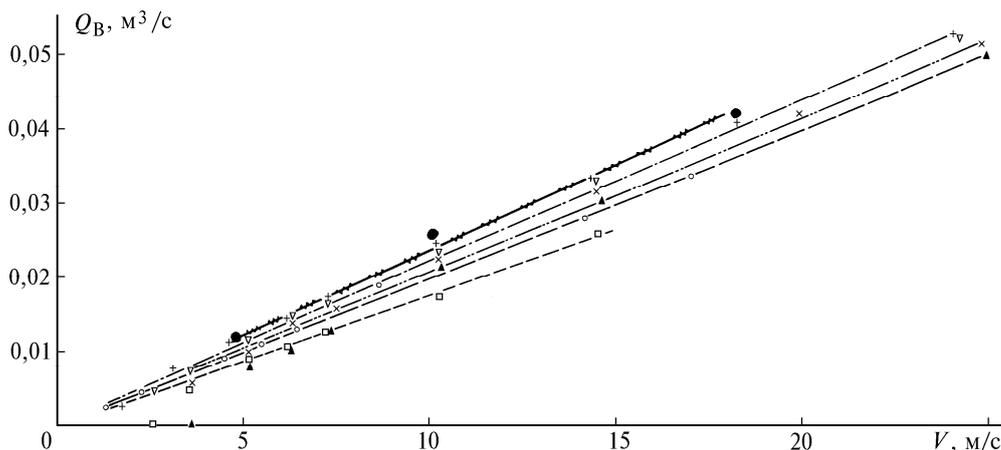


Рис. 2. Зависимость расхода воздуха Q_v во входном канале изокинетического пробоотборника аэрозолей от скорости набегающего потока V при использовании различных фильтрующих материалов: ●, (V V) – без фильтра; ×, (– · –) – ФПП-70-1,06; +, (– –) – ФПП-70-0,23; ∇, (– · –) – ФПП-70-0,53; Δ, (– –) – ФПП-15-1,6;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

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

При пробоотборе отклонения величины коэффициента изокинетичности в сторону увеличения должны приводить к искажениям в спектре аэрозолей, попадающих в воздухозаборный канал и далее на фильтр. Результаты расчетов коэффициентов аспирации аэрозолей 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.

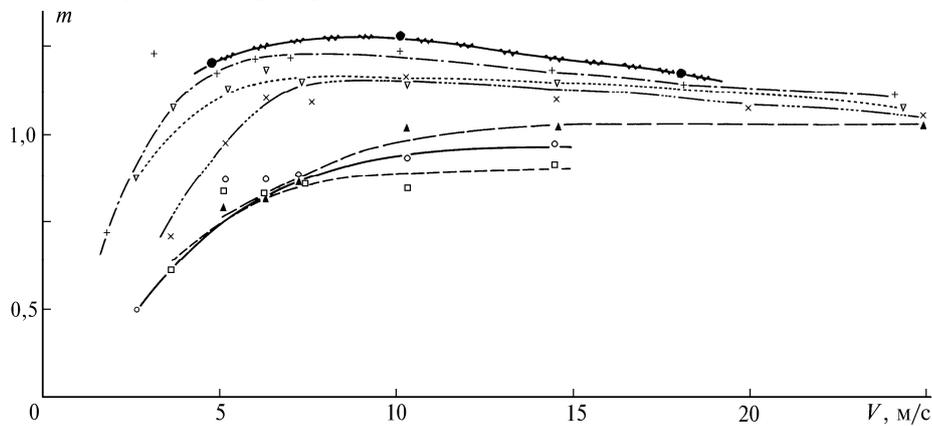


Рис. 3. Зависимость коэффициента изокинетичности m от скорости набегающего потока V при использовании различных фильтрующих материалов: \bullet , ($\nabla\nabla\nabla$) – без фильтра; \times , ($-\cdots-$) – ФПП-70-1,06; $+$, ($- \cdot -$) – ФПП-70-0,23; ∇ , (\dots) – ФПП-70-0,53; Δ , ($----$) – ФПП-15-1,6; \circ , ($-$) – ФПП-15-3,2; \square , ($----$) – ФПП-15-4,8

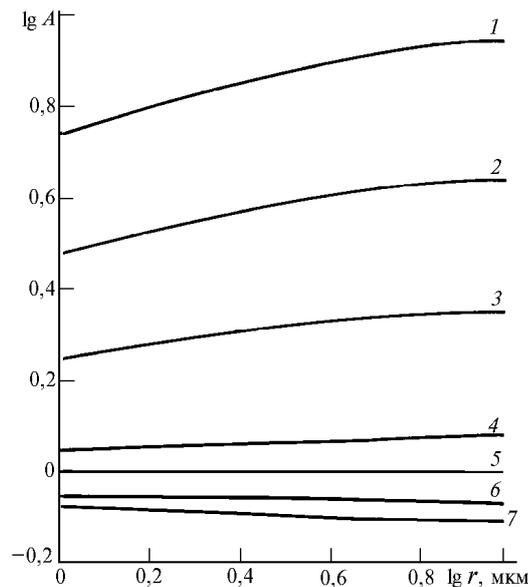


Рис. 4. Зависимость коэффициента аспирации аэрозолей A от радиуса частиц r для различных значений коэффициента изокинетичности m : 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,4; 4 – 0,8; 5 – 1,0; 6 – 1,2; 7 – 1,3

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.