

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОТБОРЕ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

Представлены результаты многосуточных экспериментов по прокачке атмосферных аэрозолей в Чернобыле через двухслойные композиции волокнистых фильтрующих материалов. Установлено, что основное накопление пылевого осадка при скоростях продувки 83 и 165 см/с происходит в лобовом слое. Из-за этого сопротивление фильтров непрерывно возрастает. Использование предфильтра из грубоволокнистого фильтрующего материала, в частности ФПП-70 или ПЭТФ-100, со стандартным сопротивлением 0,1 – 0,3 мм вод. ст. снижает пылевую нагрузку на основной фильтр ФПП-15-1,7 и увеличивает срок его эксплуатации. Поступление мелкодисперсных капель тумана или дождя приводит к росту сопротивления фильтрующего материала. Однако если он изготовлен из гидрофильных волокон, то сопротивление через некоторое время после окончания выпадения осадков возвращается практически к значению, наблюдавшемуся перед дождем.

**Ключевые слова:** Чернобыль, волокнистые фильтры, предфильтр, двухслойные композиции, атмосферные аэрозоли, выпадение осадков, скорость продувки воздуха, сопротивление фильтра.

### Вступление

При мониторинге радиоактивных аэрозолей-продуктов аварии 4-го блока ЧАЭС широко применяют волокнистые материалы ФП (фильтры Петрянова) [1, 2]. Для отбора проб в приземном слое воздуха используют фильтро-вентиляционные установки (ФВУ) производительностью около 500 м<sup>3</sup>/ч, размещенные на трех пунктах контроля в северной, северо-западной и южной частях локальной зоны объекта «Укрытие», и фильтрующий материал ФПП-15-1,5 площадью 0,8 м<sup>2</sup>. Смену фильтров выполняют регулярно раз в две недели [3, 4].

В 2009 г. земляные работы по обустройству фундамента нового безопасного конфаймента привели к существенному росту концентрации радиоактивных аэрозолей и пыли в локальной зоне. В течение всего 2010 г. эта ситуация сохранялась [4]. Известно, что сопротивление фильтрующего материала ФПП-15-1,5 зависит от накопления пылевого осадка. При этом изменяется форма волокон и характер их обтекания воздушным потоком, что приводит к снижению эффективности улавливания аэрозолей и к искажению результатов определения концентрации радиоактивных аэрозолей [5]. Кроме того, с целью оценки дисперсного состава радиоактивного аэрозоля в 2011 г. на аспирационной установке № 3 (на юге) применили дополнительный фильтр из грубоволокнистого материала. Одновременно он служил предфильтром для снижения забивания пылью фильтра ФПП-15-1,5.

Для исследования динамики сопротивления и свойств фильтрующих материалов в новых условиях отбора (повышенная пылевая нагрузка и применение двухслойной композиции) в весенне-осенний период 2011 г. провели серию многосуточных экспериментов, которые стали логическим продолжением экспериментов, начатых в 2009 г. [6].

### Методики проведения экспериментов

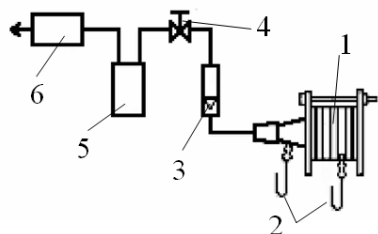


Рис. 1. Схема стенда: 1 – фильтродержатель; 2 – манометры; 3 – ротаметр; 4 – кран; 5 – ресивер; 6 – компрессор.

ус-

Для продувки фильтров применили стенд, схема которого представлена на рис. 1. Место и условия проведения экспериментов детально описаны в работе [6]. Исследовали фильтрующие материалы ФПП-15 и ФПП-70 [5] изготовленные из перхлорвинила, и ПЭТФ-100 – из волокон полиэтилентерфталата диаметрами 10 – 12 мкм. Материалы имели различные стандартные сопротивления. Площадь фильтров составляла 3 см<sup>2</sup>. Воздух продували с расходом 15 или 30 л/мин, т.е. при линейных скоростях фильтрации 83 или 165 см/с соответственно. Во всех экспериментах использовали композицию из двух последовательно

тановленных фильтров. Их сопротивление измеряли водяным манометром только в дневное время, как правило, через два-три часа с точностью  $\pm 1$  мм.

### Метеорологические условия во время экспериментов

Основные сведения о состоянии погоды в период проведения исследований (рис. 2) были получены с метеостанции «Чернобыль», расположенной в 300 м от места испытаний фильтров, и дополнены собственными наблюдениями. Все эксперименты прошли при плюсовой среднесуточной температуре воздуха. Однако в марте и апреле ночная температура иногда опускалась ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Минимальное значение  $-5^{\circ}\text{C}$  зарегистрировано в ночь с 27 на 28 марта. Днем 28 марта и 7 – 10 апреля порывы ветра достигали 11 – 15 м/с. В эти дни практически ежедневно шли дожди. С 7 по 14 апреля выпало 20,6 мм осадков. В дальнейшем (с 15 апреля) наблюдалось увеличение среднесуточной температуры. Днем 26 апреля она достигла  $25^{\circ}\text{C}$ . С конца апреля и до середины мая в период интенсивных дождей испытаний фильтров не проводили.

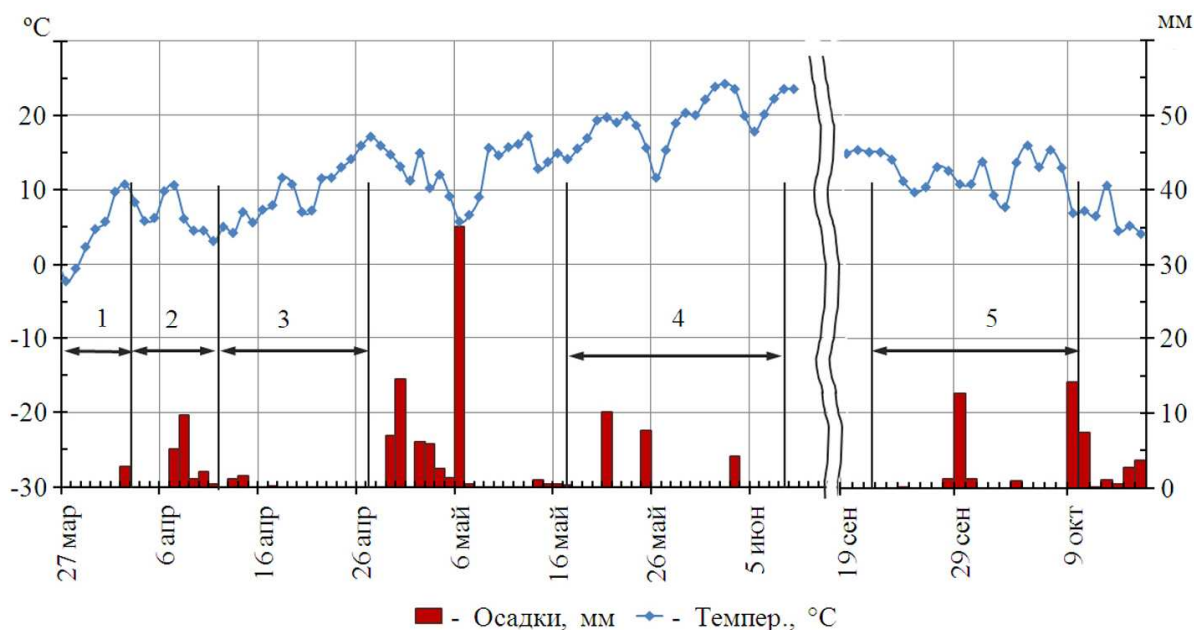


Рис. 2. Среднесуточная температура воздуха и количество осадков при проведении экспериментов.

Во время эксперимента, начатого 17 мая, три раза шли кратковременные грозовые дожди, сопровождавшиеся порывами ветра до 11 м/с. Среднесуточная температура воздуха была выше  $10^{\circ}\text{C}$ . В дневные часы воздух прогревался до  $20 - 25^{\circ}\text{C}$ . Среднесуточная скорость ветра была в пределах  $1 - 2$  м/с.

В осенний период среднесуточная температура постепенно снижалась от  $15^{\circ}\text{C}$  в начале эксперимента до  $5^{\circ}\text{C}$  в конце. По утрам иногда наблюдалась роса. Осадки выпадали преимущественно в виде морозящих дождей.

### Результаты измерения сопротивления

#### Продувка композиции материалов ФПП-15- 2,0 и ФПП-15-2,7 при скорости 83 см/с

С целью выявления динамики сопротивления фильтров при штатных отборах радиоактивных аэрозолей в окрестностях АЭС и предприятий ядерного топливного цикла был проведен эксперимент с композицией последовательно установленных фильтров ФПП-15-2,0 и ФПП-15-2,7. Воздух продували с 21 сентября по 9 октября 2011 г. при скорости 83 см/с. Результаты измерений сопротивлений фильтров представлены на рис. 3.

Рассмотрим сначала (как более простую) динамику сопротивления второго фильтра. За первые сутки оно увеличилось примерно на 10 %. Со вторых суток сопротивление стабилизировалось и в

условиях сухой маловетреной погоды сохранялось на уровне 250 мм вод. ст. в течение 9 сут. Однако затем во время дождей 29 и 30 сентября (см. рис. 2) сопротивление возросло на 10 – 12 мм вод. ст. и затем 6 сут удерживалось на 260 мм вод. ст. В последние 5 сут эксперимента по утрам наблюдались росы. Повышенная влажность влияла на сопротивление фильтра, которое в течение суток колебалось от 260 до 270 мм вод. ст. Окончание эксперимента совпало с четырехчасовым сильным дождем. Однако это практически не повлияло на состоянии фильтра. За все время эксперимента его сопротивление увеличилось с 225 до 262 мм вод. ст., т.е. в 1,16 раза.

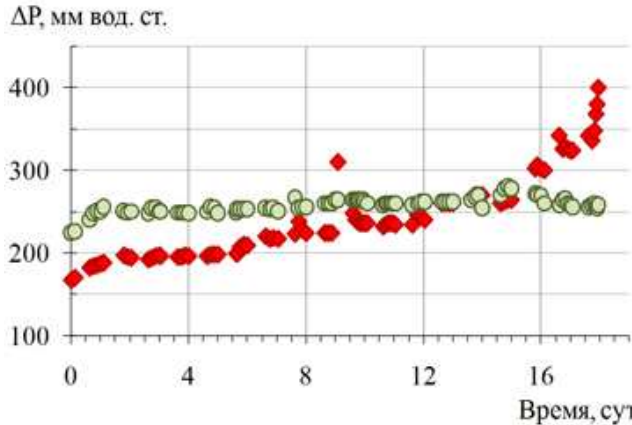


Рис. 3. Сопротивления фильтров при продувке композиции фильтрующих материалов ФПП-15-2,0 (◆) и ФПП-15-2,7 (●) при линейной скорости 83 см/с.

сделано на девятые сутки эксперимента. В этот день (30 сентября) с 15 ч и до вечера в воздухе висела морось. Сопротивление фильтра резко увеличилось на 86 мм вод. ст. При этом зарегистрированное на метеостанции «Чернобыль» количество осадков не превысило 1 мм. Следовательно, рост сопротивления был вызван мельчайшими водяными каплями, поступавшими на фильтр. Они, как и твердые пылинки, оседали на волокнах, заполняли поры, сужали каналы между волокнами. С улучшением погоды относительная влажность воздуха стала уменьшаться, и вследствие испарения влаги снизилось сопротивление фильтра. Оно стабилизировалось на 236 мм вод. ст. и удерживалось на этом уровне во время 10 – 12 суток эксперимента.

Максимальное сопротивление 310 мм вод. ст. было зарегистрировано вечером 30 сентября. Но к середине дня 1 октября оно снизилось до 235 мм вод. ст., хотя небо оставалось пасмурным, а земля – сырой. Как следует из рис. 3, резкий рост сопротивления первого слоя начался после 16 суток продувки. К этому периоду на фильтре накопилось примерно 9 мг пыли, т.е. 3 мг/см<sup>2</sup>. Но дальнейшее накопление пыли, кратковременные дожди и выпадения росы по утрам привели к стремительному росту сопротивления. Продувку воздуха пришлось закончить на 18-е сутки, когда при продолжительном дожде сопротивление фильтра достигло 400 мм вод. ст., т.е. почти вдвое превысило исходное. В итоге за все время эксперимента сопротивление первого фильтра увеличилось со 167 до ~400 мм вод. ст., т.е. в 2,4 раза.

После завершения продувки фильтродержатель был разобран. Осмотр фильтров показал, что первый стал черным, а второй посерел. За время эксперимента на первом фильтре накопилось 9,8 мг пыли и на втором – 1,1 мг, т.е. процентное распределение массы пыли, оказалось 90 и 10 % соответственно. Средняя концентрация пыли в воздухе за период проведения эксперимента составила 0,028 мг/м<sup>3</sup>.

После окончания продувки фильтры были измерены на полупроводниковом  $\gamma$ -спектрометре, при этом на них был идентифицирован космогенный радионуклид <sup>7</sup>Be. Активность <sup>7</sup>Be на первом слое составила  $1,6 \pm 0,43$  Бк и на втором –  $0,45 \pm 0,22$  Бк.

Проведенный эксперимент показал, что при прокачке атмосферного воздуха через штатный фильтрующий материал ФПП-15-2,0, использованный в первом слое композиции, его сопротивление непрерывно растет с начала продувки. Резкое увеличение сопротивления происходит при выполнении работ со значительным пылеподъемом вблизи фильтра, выпадении осадков в виде дождя и особенно мороси и тумана. Прекращение осадков приводит к быстрому снижению сопротивления. Из полученных результатов следует, что при средней концентрации пыли в атмосфере около 0,03 мг/м<sup>3</sup> и скорости воздушного потока 83 см/с сопротивление фильтрующего материала ФПП-15-2,0 увеличи-

вається вдвоє на 16 – 17-е сутки неперервної прокачки. Ефективність улавлювання пилі становить около 90 %.

**Продувка композиції матеріалів ФПП-70-0,3 і ФПП-15-2,2 при швидкості 83 см/с**

Поскольку фильтрующий материал из грубых волокон эффективно улавливает крупные аэрозольные частицы [5], было решено провести эксперимент по продувке атмосферного воздуха через штатный материал ФПП-15-2,2, разместив впереди него в качестве предфильтра материал ФПП-70-0,3. Продувка с такой композицией состоялась с 12 по 27 апреля при скорости 83 см/с.

Как видно на рис. 4, сопротивление обоих слоев непрерывно и плавно увеличивалось с начала эксперимента. Такая динамика определялась устойчивыми погодными условиями с температурой воздуха в ночные и дневные часы в диапазоне 5 – 10 °С и средними скоростями ветра, не превышавшими 2 м/с. Лишь дважды прошли кратковременные дожди: 13 апреля выпало 1,4 мм осадков и 17 апреля – 0,1 мм. К окончанию эксперимента сопротивление первого фильтра составило 100 мм вод. ст., т.е. увеличилось от исходного в 4 раза, а второго – примерно 260 мм вод. ст., т.е. возросло в 1,4 раза.

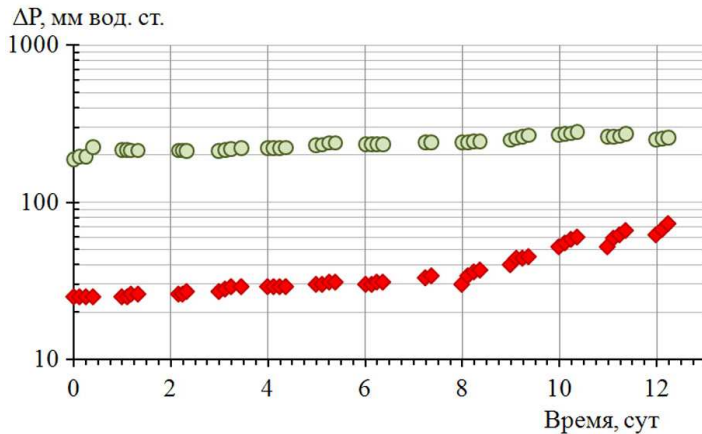


Рис. 4. Сопротивления фильтров при продувке композиции фильтрующих материалов ФПП-70-0,3 (♦) и ФПП-15-2,2 (●) при линейной скорости 83 см/с.

концентрация в атмосферном воздухе составляла 0,05 мг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, использование предфильтра ФПП-70-0,3 позволило снизить пылевую нагрузку на штатный фильтр ФПП-15-2,2. Если в предыдущем эксперименте на него поступило 9,8 мг пыли и сопротивление увеличилось в 2 раза, то в данном случае – только 3,7 мг, а сопротивление возросло лишь в 1,4 раза.

**Продувка композиції матеріалів ФПП-70-0,3 і ФПП-15-2,2 при швидкості 165 см/с**

Продувка проводилась для оценки характеристик предфильтра из материала ФПП-70-0,3 при скорости вдвое большей, чем в предыдущем эксперименте. Основной фильтр, как и раньше, был выполнен из материала ФПП-15-2,0. Непрерывная продувка воздуха проходила с 27 марта по 3 апреля.

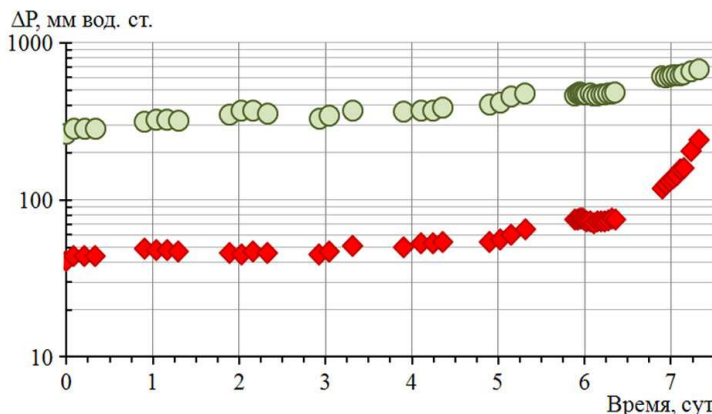


Рис. 5. Сопротивление фильтров при продувке композиции фильтрующих материалов ФПП-70-0,3 (♦) и ФПП-15-2,2 (●) при линейной скорости 165 см/с с 27 марта по 3 апреля.

В течение 7 сут эксперимента метеорологическая обстановка была спокойная. Средняя скорость ветра, как правило, не превышала 1 – 2 м/с. Лишь на пятые сутки при прохождении воздушного фронта она достигала в течение двух часов 5 м/с. Еще через полсутки начался морозящий дождь, который продолжался около 5 ч. За это время выпало 2,7 мм осадков.

Как следует из рис. 5, сопротивление обоих слоев непрерывно и плавно увеличивалось с начала эксперимента. Морозящий дождь в конце пятых суток лишь незначительно и кратковременно повлиял на увеличение сопротивления



обоих фильтров. Резкий рост сопротивления начался на седьмые сутки эксперимента. Продувку воздуха пришлось закончить.

За 192 ч эксперимента сопротивление предфильтра изменилось с 40 до 240 мм вод. ст., т.е. в 6 раз, а штатного фильтра – с 320 до 670 мм вод. ст., т.е. в 2,1 раза. Оба фильтра стали черными. На первом слое накопилось 8,86 мг пыли, на втором – 5,5 мг. Таким образом, 62 % пыли было уловлено в первом слое и 38 % – во втором. Средняя запыленность воздуха за период продувки составила 0,042 мг/м<sup>3</sup>.

Эксперимент показал, что повышение скорости прокачки воздуха с 83 до 165 см/с привело к увеличению проскока аэрозолей через предфильтр с 25 до 38 %. В обоих экспериментах резкий подъем сопротивления предфильтра начинался при удельном накоплении пыли около 4 мг/см<sup>2</sup>.

### Продувка композиции материалов ПЭТФ-100-0,05 и ФПП-15-2,0 при скорости 83 см/с

Анализ результатов, представленных выше экспериментами, показал, что пылеемкость предфильтра из материал ФПП-70-0,3 недостаточно высокая. Поэтому было решено испытать в качестве предфильтра более грубоволокнистый материал из полиэтилентерфталата с диаметрами волокон 10 – 12 мкм (ПЭТФ-100-0,05). Вторым слоем, как и в предыдущих экспериментах, был штатный материал ФПП-15-2,0. Продувка такой композиции при скорости 83 см/с состоялась с 17 мая по 8 июня. Практически в течение всех 22 сут стояла ясная тихая погода, иногда дневная температура достигала +30 °С. Следует отметить, что время проведения эксперимента в течение нескольких суток совпало с периодом цветения тополей. Это приводило к попаданию на фильтр пушинок, которые удаляли пинцетом без выключения компрессора. Лишь 21 и 25 мая (5-е и 9-е сутки эксперимента) наблюдались грозы с ливневыми дождями. В первый день выпало 10 мм осадков, во второй – 7,6 мм. Именно они, как уже отмечалось выше, приводили к кратковременному увеличению сопротивления обоих слоев фильтрующей композиции.

Как видно на рис. 6, за первые трое суток сопротивление первого слоя увеличилось примерно в 1,5 раза, а затем возрастало очень медленно. К концу эксперимента сопротивление достигло 7 мм

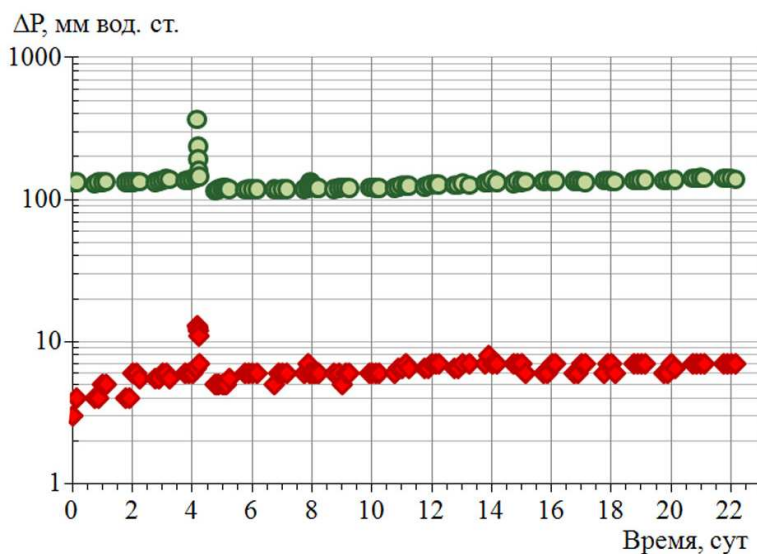


Рис. 6. Сопротивления фильтров при продувке композиции фильтрующих материалов ПЭТФ-100-0,05 (◆) и ФПП-15-2,0 (●) при линейной скорости 83 см/с.

вод. ст. Таким образом, за 22 сут оно повысилось в 1,75 раза. Сопротивление второго слоя оказалось еще стабильнее: 136 мм вод. ст. в начале продувки и 141 мм вод. ст. в конце, т.е. увеличилось всего на 3 – 4 %.

Более подробно рассмотрим динамику сопротивления в периоды выпадения осадков. На рис. 7, а приведены данные за 21 мая (4-е сутки). При небольшом 10-минутном дожде (с 17 ч 15 мин) сопротивление обоих слоев увеличилось незначительно. Однако последующая 30-минутная гроза с ливнем, начавшаяся часом позже, привела к росту сопротивления первого слоя вдвое и второго – почти втрое. После окончания ливня сопротивления обоих слоев стали быстро снижаться и через полтора часа практически вернулись к дождевым значениям.

Менее интенсивные и более растянутые по времени дожди и грозы 25 мая (8-е сутки) вызвали менее существенное (10 – 15 %) повышение сопротивлений обоих фильтров (см. рис. 7, б), чем четырьмя сутками ранее. Однако высыхание второго слоя и возврат его сопротивления к дождевому значению проходили медленнее, чем у первого.

За период эксперимента оба фильтра стали черные. На первом фильтре накопилось 6,4 мг пыли, на втором – 6,2 мг, т.е. распределение оказалось 51 и 49 % соответственно. Средняя концентра-

ция пыли в атмосфере составила  $0,026 \text{ мг/м}^3$ . К концу продувки на каждом слое накопилось пыли по  $2 \text{ мг/см}^2$ .

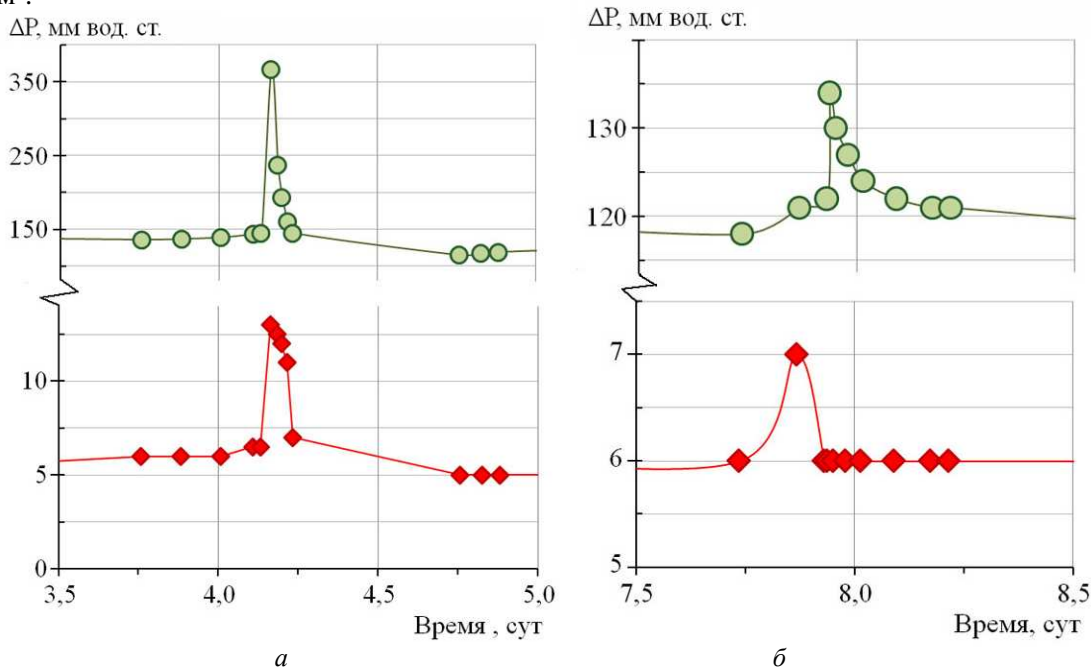


Рис. 7. Сопротивления фильтров при продувке композиции фильтрующих материалов ПЭТФ-100-0,05 (♦) и ФПП-15-2,0 (●) при линейной скорости 83 см/с 21 мая (а) и 25 мая (б).

### Продувка композиции материалов ПЭТФ-100-0,05 и ФПП-15-2,0 при скорости 165 см/с

Продувка с предфильтром из материала ПЭТФ-100-0,05 проводилась при скорости вдвое большей, чем в предыдущем эксперименте. Основной фильтр, как и раньше, был выполнен из материала ФПП-15-2,0. Во время этого 9-суточного эксперимента с 3 по 12 апреля погода была неустойчивая. Температура воздуха колебалась от 2 до 22 °С. В середине периода несколько раз средняя скорость ветра достигала 4 – 5 м/с. Как правило, при этом шли дожди. За 5 сут выпало 18,1 мм осадков, причем половина – 8 апреля (6-е сутки эксперимента).

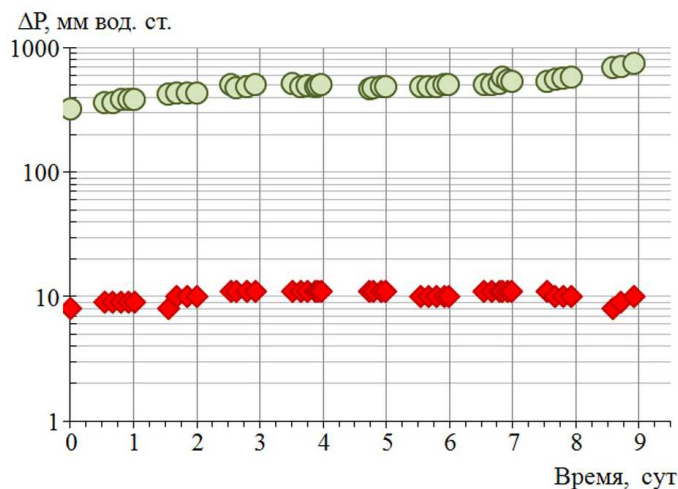


Рис. 8. Сопротивление фильтров при продувке композиции фильтрующих материалов ПЭТФ-100-0,05 (♦) и ФПП-15-2,0 (●) при линейной скорости 165 см/с.

Как видно на рис. 8, сопротивление предфильтра колебалось от 8 до 11 мм вод. ст. Если учесть, что точность отсчета не превышала 1 мм вод. ст., то сопротивление практически не изменялось. Выпадавшие дожди также мало сказывались на его величине. Исходя из среднего значения сопротивления предфильтра в конце эксперимента (10 мм вод. ст.), получим, что за период продувки оно увеличилось в 1,25 раза.

В отличие от первого слоя сопротивление второго систематически росло. Вероятнее всего, это происходило из-за аэрозолей, которые просакивали через предфильтр, поскольку на рис. 8 видно, что дожди 7 апреля (5-е сутки) и 10 апреля (8-е сутки) приводили лишь к кратковременным повышениям сопротивления. За 9 сут эксперимента сопротивление второго слоя возросло с 324 до 750 мм вод. ст., т.е. в 2,3 раза. Это больше, чем в предыдущем эксперименте при вдвое меньшей скорости потока.

Визуальный осмотр после завершения продувки показал, что оба фильтра почернели. Масса накопленной пыли на первом фильтре составила 5,13 мг, на втором – 5,31 мг. Следовательно, пыль

распределилась практически одинаково между фильтрами (49 % на первом и 51 % на втором) при средней концентрации пыли в воздухе  $0,027 \text{ мг/м}^3$ .

### Обсуждение результатов

Все представленные выше эксперименты были многосуточными, причем некоторые превосходили длительность пробоотбора аэрозолей при радиационном мониторинге воздушной среды в локальной зоне объекта «Укрытие» и зоне отчуждения ЧАЭС.

Как следует из табл. 1 и данных с метеостанции «Чернобыль» (см. рис. 2), наибольшая запыленность воздуха  $0,04 - 0,05 \text{ мг/м}^3$  наблюдалась в периоды отсутствия дождей или минимального выпадения осадков. В дождливые периоды концентрации пыли снижались примерно вдвое. Это еще раз подтвердило известное явление вымывания аэрозолей из атмосферы.

Сырая погода существенно влияла на динамику сопротивления фильтрующих материалов. Практически при каждом дожде наблюдался рост сопротивления фильтров, а после его окончания – сравнительно быстрое возвращение сопротивления к значению, которое было перед началом дождя. Следовательно, сначала происходило улавливание капель на фильтре, а затем их испарение. Некоторые колебания сопротивления фильтров происходили также в периоды наблюдения росы.

Таблица 1. Условия экспериментов при продувке фильтрующих материалов в 2011 г.

Экспозиция	Скорость, см/с	Суммарное время, ч	Суммарный объем, м <sup>3</sup>	Концентрация пыли, мг/м <sup>3</sup>	Масса пыли, мг
21.09 – 9.10	83	431	388	0,028	10,9
12 – 27.04	83	334	301	0,050	15,0
27.03 – 3.04	165	192	346	0,042	14,4
17.05 – 8.06	83	532	478	0,026	12,6
3 – 12.04	165	214	385	0,027	10,4

В то же время было установлено, что величина роста сопротивления фильтров напрямую не связана с количеством выпавших осадков. Например, интересное наблюдение было сделано на 9-е сутки продувки композиции из материалов ФПП-15-2,0 и ФПП-15-2,7. В этот день (30 сентября) с 15 ч и до вечера в воздухе висела морось. При этом на метеостанции «Чернобыль» количество осадков не превысило 1 мм. Однако сопротивление первого слоя резко увеличилось с 224 до 310 мм вод. ст., т.е. почти на 40 %. После прекращения осадков в 20 ч сопротивление фильтра стало уменьшаться и на следующий день составило 236 мм вод. ст. При этом погода оставалась пасмурной (при температуре воздуха  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и практически безветренной, но земля была мокрая. В этих условиях подъем пыли с подстилающей поверхности был минимальный. Следовательно, рост сопротивления при морозящем дожде был вызван поступлением на фильтр мельчайших водных капель (тумана). Они, как и твердые пылинки, оседали на волокнах, заполняли поры, сужали каналы между волокнами. Это и привело к увеличению сопротивления. После прекращения осадков, хотя относительная влажность воздуха оставалась высокой, капли постепенно испарялись и сопротивление падало.

Во время экспериментов была выявлена еще одна важная практическая деталь, которая связана с гидрофильностью материалов, изготовленных из перхлорвинила и полиэтилентерфталата. После окончания осадков их сопротивление быстро возвращалось к значениям, зафиксированным перед дождем. Эти материалы не впитывали влагу и не разбухали. Их сопротивление не увеличивалось за счет изменения структуры фильтрующего слоя. Этим они существенно отличались от гидрофильных материалов, например ФПА, изготовленных из ацетилцеллюлозы, увеличение сопротивления которых наблюдалось при дождливой погоде в работе [6].

Из результатов, обобщенных в табл. 2, следует, что предфильтры из толстых волокон (ФПП-70 и ПЭТФ-100), стандартное сопротивление которых составляет малую долю от стандартного сопротивления штатного фильтрующего материала, улавливали не менее половины массы пыли, поступающей из атмосферы на двухслойную композицию. Увеличение скорости прокачки с 83 до 165 см/с через предфильтр из ПЭТФ-100-0,05 практически не отразилось на его эффективности, которая составила около 50 % по массе уловленной пыли. Однако эффективность предфильтра из материала ФПП-70-0,3 при изменении скорости потока от 83 до 165 см/с снизилась с 75 до 62 %. Очевидно, это было связано с повышением проскока частиц размером менее 1 мкм.

Подтверждением того, что проскок аэрозолей был обусловлен субмикронными аэрозолями, стало обнаружение космогенного радионуклида  $^7\text{Be}$  на втором слое композиции материалов ФПП-15-2,0 и ФПП-15-2,7 при эксперименте, проведенном в сентябре – октябре. Тогда на второй слой проскочило около 12 % этого радионуклида. Одновременно при взвешивании фильтров было получено, что проскок пыли составил около 10 %. Из этого следует, что пылевые частицы и аэрозоли-носители  $^7\text{Be}$  имели практически одинаковые размеры. Точнее, их аэродинамические диаметры находились в диапазоне 0,3 – 0,5 мкм [7].

Таблица 2. Накопление пыли и рост сопротивления при продувке фильтрующих материалов

Экспозиция, 2011 г.	Слой	Материал	Масса пыли, мг	Доля пыли, %	Увеличение сопротивления слоя, разы
21.09 – 9.10	1	ФПП-15-2,0	9,8	90	2,40
	2	ФПП-15-2,7	1,1	10	1,16
12 – 27.04	1	ФПП-70-0,3	11,3	75	4,0
	2	ФПП-15-2,2	3,7	25	1,4
27.03 – 3.04	1	ФПП-70-0,3	8,9	62	6,0
	2	ФПП-15-2,2	5,5	38	2,1
17.05 – 8.06	1	ПЭТФ-100-0,05	6,4	51	1,75
	2	ФПП-15-2,0	6,2	49	1,04
3 – 12.04	1	ПЭТФ-100-0,05	5,1	49	1,25
	2	ФПП-15-2,0	5,3	51	2,3

### Заключение

Проведенные эксперименты позволяют выделить несколько результатов, имеющих практическое значение.

Основное накопление аэрозолей при прокачке атмосферного воздуха с высокими скоростями (83 и 165 см/с) через волокнистые фильтрующие материалы Петрянова, которые штатно используются при мониторинге воздушной среды вблизи ЧАЭС, происходит в лобовом слое. Из-за этого их сопротивление непрерывно возрастает. Забивание пылью влияет на производительность аспирационной установки и эффективность улавливания аэрозолей.

Использование предфильтра из грубоволокнистого фильтрующего материала, в частности ФПП-70 или ПЭТФ-100, с малым стандартным сопротивлением 0,1 – 0,3 мм вод. ст. может значительно снизить аэрозольную нагрузку на основной фильтр ФПП-15-1,7 и продлить срок его эксплуатации.

Поступление мелкодисперсных капель тумана или дождя приводит к значительному росту сопротивления фильтрующих материалов. Однако если они изготовлены из гидрофильных волокон, то, как правило, сопротивление через некоторое время после прекращения осадков возвращается практически к значению, наблюдавшемуся перед дождем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огородников Б.И., Пазухин Э.М., Ключников А.А. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины. – 2008. – 456 с.
2. Кіреєв С.І., Годун Б.О., Нікітіна Т.І. та ін. Радіаційний стан на території зони відчуження у 2008 році // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення (Чернобыльский часопис). – 2009. – № 1. – С. 3 – 23.
3. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калининский А.К. и др. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2006. – Вып. 6. – С. 84 – 94
4. Калининский А.К., Краснов В.А., Огородников Б.И. Радиоактивные аэрозоли в локальной зоне объекта «Укрытие» в 2009 – 2010 гг. // Там же. – 2011. – Вып. 17. – С. 106 – 112.
5. Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. – М.: Знание, 1968. – 78 с.
6. Огородников Б.И., Ковальчук В.П., Хан В.Е. Рост сопротивления фильтрующих материалов Петрянова при улавливании атмосферных аэрозолей близ ЧАЭС // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2010. – Вып. 13. – С. 146 – 153.



7. *Огородников Б.И., Скитович В.И., Будыка А.К.* Дисперсный состав искусственных и естественных радиоактивных аэрозолей в 30-километровой зоне ЧАЭС в 1986 – 1996 гг. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1998. – Т. 38. – Вып. 6. – С. 889 – 892.

**О. К. Калиновський<sup>1</sup>, Б. І. Огородников<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна*

<sup>2</sup> *Фізико-хімічний інститут ім. Л. Я. Карпова, пров. Обуха, 3-1/12, буд. 6, Москва, 105064, Росія*

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ОПОРУ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВІДБОРІ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ ПОБЛИЗУ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»**

Представлено результати багатодобових експериментів із прокачування атмосферних аерозолів у чорнобильській зоні через двошарові композиції волокнистих фільтруючих матеріалів. Установлено, що основне накопичення пилового осаду при швидкостях продувки 83 і 165 см/с відбувається в лобовому шарі. Через це опір фільтрів безперервно зростає. Використання передфільтрів із грубоволокнистого фільтруючого матеріалу, зокрема ФПП-70 або ПЕТФ-100, зі стандартним опором 0,1 - 0,3 мм вод. ст. знижує пилове навантаження на основний фільтр ФПП-15-1,7 і збільшує термін його експлуатації. Надходження дрібнодисперсних крапель туману або дощу призводить до зростання опору фільтруючого матеріалу. Однак якщо він виготовлений із гідрофільних волокон, то опір через деякий час після закінчення випадіння опадів повертається практично до значення, яке спостерігалось перед дощем.

*Ключові слова:* Чорнобиль, волокнисті фільтри, передфільтр, двошарові композиції, атмосферні аерозолі, випадіння опадів, швидкість продувки повітря, опір фільтра.

**О. К. Kalynovsky<sup>1</sup>, B. I. Ogorodnikov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, 36a, Kirova str., Chornobyl, 07270, Ukraine*

<sup>2</sup> *Karpov Institute of Physical Chemistry, 3-1/12, build 6, Obuha pereulok, Moscow, 105064, Russia*

#### **STUDY OF PRESSURE DROP DYNAMICS OF FILTER MATERIALS AT RADIOACTIVE AEROSOL SUMPLING NEAR THE OBJECT “UKRYTTYA”**

Results of multidaily experiments on pumping of atmospheric aerosols in Chernobyl zone through dual-layer compositions of fibrous filtering materials are presented. It is found that the basic sediment accumulation of dust at blowdown with rates 83 and 165 sm/s occurs in the frontal layer. Because of that, the resistance of filters continuously increases. The using of the prefilter from coarse-fibered filtering material, in particular, FPP-70 or PETF-100, with a standard resistance of 0.1 - 0.3 mm of water column reduces dust loading on the main filter FPP-15-1,7 and increases term of its operation. The collection of fine droplets of fog or rain increases the resistance of filter material. However, if it is made of hydrophilic fibers, the resistance during some time after the end of fallout returns nearly to the value have been observed before of rain.

*Keywords:* Chernobyl, fiber filters, prefilter, dual-layer compositions, atmospheric aerosols, precipitation, air blowing speed, resistance of the filter.

#### **REFERENCES**

1. *Ogorodnikov B. I., Pazuhin E.M., Klyuchnykov A.A.* Radioactive aerosols of object “Ukryttya”: 1986 – 2006. – Chernobyl: IPB AES NAN Ukraine. – 2008. – 456 p. (Rus)
2. *Kireev S.I., Godun B.O., Nikitina T.I.* Radiation situation in the exclusion zone in 2008 // *Byuleten ekologichnogo stany zony vidchujennya ta bezumovnogo vidseleennya (Chernobylskyy chasopys)*. – 2009. – № 1. – P. 3 – 23. (Ukr)
3. *Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalynovsky A. K. et al.* Control of releases of radioactive aerosols from object “Ukryttya” in 2005 // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of nuclear power plants and of Chornobyl)*. - 2006. - Iss. 6. - P. 84 – 94. (Rus)
4. *Kalynovsky A. K., Krasnov V. A., Ogorodnikov B. I.* Radioactive aerosols in local zone of object “Ukryttya” in 2009 – 2010 // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of nuclear power plants and of Chornobyl)*. - 2011. - Iss. 17. - P. 106 – 112. (Rus).
5. *Petryanov I.V., Kozlov V.I., Basmanov P.I., Ogorodnikov B. I.* Fibrous filter materials FP. – М.: Znanie, 1968. – 78 p. (Rus)
6. *Ogorodnikov B. I., Kovalchuk V.P., Khan V. E.* Increase of pressure drop of Petrjanov’s filter materials at atmospheric aerosol catchment near Chornobyl NPP // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of nuclear power plants and of Chornobyl)*. - 2010. - Iss. 13. - P. 146 – 153. (Rus)
7. *Ogorodnikov B. I., Skitovich V.I., Budyka A.K.* The particulate composition of natural and artificial radioactive aerosols in the 30-kilometer zone Chernobyl in 1986 - 1996 // *Radiatsyonnaj biologijaj. Radioekologijaj*. – 1998. – Т. 38. – Iss. 6. – P. 889 – 892. (Rus)

Надійшла 26.01.2012  
Received 26.01.2012