

УДК 66.074.43; 661.879; 661.487

## К ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТКЕ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ЗАВОДА ПО РАЗДЕЛЕНИЮ ИЗОТОПОВ УРАНА

*О.Б. Громов, М.В. Медкова, А.А. Орлов*

*АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт  
неорганических материалов имен академика А.А. Бочвара, Москва*

*Показано, что эффективным фильтр-поглотителем, как аэрозолей урана, так и летучих фторидов, является химический поглотитель на основе древесной стружки, импрегнированной гидроксидом натрия. Описан метод импрегнации древесного волокна до массовой доли твёрдого гидроксида натрия, равной до 45%, по видоизменённому методу делигнификации Мерсера. Солевые и оксидные соединения нецелесообразно применять в вентиляционных системах вследствие их малой химической активности с фторидами и повышенного гидравлического сопротивления их слоя. Вентиляционные системы, оснащённые мерсеризованной древесиной, обеспечат очистку вентиляционного воздуха до значений не выше  $0,05 \text{ мг/м}^3$ , то есть ниже санитарной концентрации летучих фторидов и аэрозолей урана в рабочей зоне, не превышающей  $0,1 \text{ мг/м}^3$ .*

Ключевые слова: очистка воздуха, химический поглотитель, аэрозоль урана, фтороводород, древесное волокно, делигнификация, импрегнация, гидроксид натрия.

## ON THE ISSUE OF VENTILATION AIR PURIFICATION AT THE URANIUM ISOTOPE SEPARATION PLANT

*O.B. Gromov, M.V. Medkova, A.A. Orlov*

*JSC «A.A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials», Moscow*

*It is shown that an effective filter-absorber of both uranium aerosols and volatile fluorides is a chemical absorber based on wood chips impregnated with sodium hydroxide. A method of impregnation of wood fiber to a mass fraction of solid sodium hydroxide equal to up to 45% by a modified Mercer delignification method is described. It is inexpedient to use salt and oxide compounds in ventilation systems due to their low chemical activity with fluorides and increased hydraulic resistance of their layer. Ventilation systems equipped with mercurized wood will provide purification of ventilation air to values not higher than  $0.05 \text{ mg/m}^3$ , i.e. lower than the sanitary concentration of volatile fluorides and uranium aerosols in the working zone, equal to not higher than  $0.1 \text{ mg/m}^3$ .*

Keywords: air purification, chemical absorber, uranium aerosol, hydrogen fluoride, wood fiber, delignification, impregnation, sodium hydroxide.

### **Введение**

На заводах разделительно-сублиматного комплекса перерабатывают разнообразные газовые смеси, содержащие в своём составе фторидные соединения. Технические решения по извлечению из них ценных компонентов, содержание которых достигает нескольких процентов, например HF и UF<sub>6</sub>, принципиально найдены и, как правило, внедрены в производство. Однако в результате переработки газов в воздух производственных помещений может попадать некоторое количество ВХВ (вредные химические вещества) в виде аэрозолей, в том числе радиоактивных, и газообразных соединений в концентрациях долей процентов. За счёт циркуляции вентиляционного воздуха содержание вредных веществ в воздухе помещений не должно превышать нормируемые показатели: для UF<sub>6</sub> (газ) 0,015 мг/м<sup>3</sup>, для UF<sub>4</sub> и UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (аэрозоли) 0,075 мг/м<sup>3</sup>, для HF 0,1 мг/м<sup>3</sup> (разовая концентрация в течение не более 30 минут может достигать 0,5 мг/м<sup>3</sup>) [1, 2]. Кроме того, содержание фторсодержащих соединений в воздухе за пределами санитарно-защитной зоны предприятия не должно быть выше 0,005 мг/м<sup>3</sup> [1].

Целью настоящей работы является обоснование необходимости применения в вентиляционных системах не только аэрозольных фильтров, но и химического поглощения высокоопасных газов.

### **Анализ существующих вентиляционных систем**

Как правило, в вентиляционных системах отрасли применяют только очистку от аэрозольных частиц с помощью фильтров на основе ткани Петрянова (ФПП 15-1,5), позволяющей задерживать аэрозольные частицы размером от 0,15 мкм [3]. Однако применение ткани Петрянова в качестве единственного фильтрующего материала в системе очистки воздуха технически необоснованно, учитывая небезопасность выбрасываемого газа в атмосферу после системы вентиляции. Поливинилхлорид, составляющий основу ткани Петрянова, не взаимодействует не только с фтором, но и с HF и UF<sub>6</sub>, практически не улавливает газовые компоненты разделительного и сублиматного производств, основу которых и составляют фторсодержащие соединения. Из этого следует, что в качестве фильтрационного материала, способного улавливать не только аэрозоли урана, но и вредные газы, необходимо применять химические фильтр-поглотители, обладающие сравнимым с тканью Петрянова аэродинамическим сопротивлением.

Использование традиционных химических поглотителей на основе оксидов, солей и гидроксидов не приемлемо именно из-за их существенного аэродинамического сопротивления в условиях интенсивного газового потока. Кроме того, традиционные поглотители часто оказываются неэффективными для очистки ВХВ, содержащихся в малых количествах, что характерно для вентиляционного воздуха. Решающую роль в

этих случаях играет их химическая активность. Например, по эффективности улавливания фторида водорода традиционные химические поглотители располагаются следующим образом (в скобках указана степень улавливания в %): алюмогель (40-70) > содовый поглотитель (40) > мраморная крошка (4) [4, 5].

Применение большинства из вышеперечисленных веществ сравнительно допустимо при трёх основных условиях:

- высокое (более 0,1 об. %) содержание ВХВ (преимущественно HF);
- большие объёмы циркулирующего воздуха (сотни тысяч кубометров);
- незначительная скорость потока газа;
- значительная степень антагонизма между поглощаемым соединением и поглотителем.

В системе вентиляции воздуха предприятий разделительно-сублиматного комплекса (РСК) эти условия не выполняются:

- из-за чрезвычайно опасного фтороводорода – вещества первого класса опасности [2]. Его концентрация в воздухе цеха не должна превышать  $0,1 \text{ мг/м}^3$ , т.е.  $1 \cdot 10^{-5}\%$ ;
- разовый объём циркулирующего воздуха не превышает десяти тысяч кубометров при кратности обмена не менее трёх [4];
- время контакта ВХВ с поглотителями, как правило, не превышает одной секунды, что при низкой химической активности между реагентами недостаточно;
- поглотители являются слабощелочными (карбонаты) или амфотерными (алюмогель), т.е. антагонизм с кислыми фторидами небольшой.

### Обсуждение результатов

Из вышеизложенного однозначно следует, что применение традиционных химических поглотителей на солевой или оксидной основе для обезвреживания фторсодержащих газов малоэффективно [6-13]. Наиболее химически активным веществом по отношению к фторсодержащим соединениям, в подавляющем большинстве имеющих кислый характер, является гидроксид щелочного металла, самый распространённый – NaOH. Однако в чистом виде гидроксид натрия очень гидрофилен, за короткое время превращаясь сначала в желе и затем в жидкость, что делает его практически непригодным для применения в технологиях очистки газа, например вентиляционного воздуха.

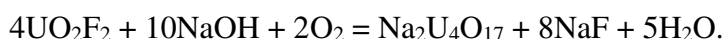
Поэтому, для того чтобы использовать на практике основную (щелочную) силу NaOH по взаимодействию с газообразными кислыми веществами, необходимо было найти материал-носитель с признаками сорбента, то есть вещество с развитой внутренней поверхностью и не взаимодействующего со щёлочью. Таким материалом оказалась древесина, точнее, основная её составляющая часть - целлюлоза.

Материал, который с успехом можно применить в вентиляционных системах предприятий разделительно-сублиматного комплекса АО «ТВЭЛ», – это делигнифицированное импрегнированное древесное волокно. Известно, что древесина представляет собой органическое углеводородное волокно на основе матрицы из целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз [4]. Суть делигнификации – освобождение от лигнина внутренних каналов и пор целлюлозы. При этом гемицеллюлозы (растворимая целлюлоза) также переходят в маточный раствор. Делигнификация древесины достигается обработкой её растворами щелочей (метод Мерсера) [7, 8]. В процессе переработки в лесотехнической промышленности делигнифицированную целлюлозу отмывают от щелочи, а в нашем случае отмывку от щелочи не проводят, но высушивают до степени содержания влаги 10-12% (естественно сухая древесина), то есть на внешней поверхности, а также в каналах и порах целлюлозы оставляют щелочной агент [9], достигая импрегнирования древесного волокна сухой щелочью.

Исходя из классического процесса мерсеризации древесины был разработан химический поглотитель на основе древесного волокна, содержащий в своём составе импрегнаты – щёлочи металлов I-й группы таблицы Менделеева (лучший результат с NaOH). Химические поглотители получили наименование ХП-МД (химический поглотитель мерсеризованная древесина) [10] и ХП-ММД (модернизированная МД) [11], технические показатели которых следующие:

- активное вещество – NaOH (добавка в ХП-ММД Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>);
- содержание NaOH – до 45 мас. % (в ХП-ММД содержание S(IV) до 4%);
- размеры частиц – толщина не более 1 мм;
  - ширина 0,5-15 мм;
  - длина не менее 50 мм;
- форма частиц – изогнутые пластинки и спирали (стружка);
- рабочая плотность слоя – не более 0,4 г/см<sup>3</sup>;
- сопротивление слоя высотой 500 мм – не более 8 кПа;
- рабочая ёмкость по HF – до 35%;
- степень улавливания HF – не менее 99,8%;
- степень улавливания UF<sub>6</sub> – не менее 99,9%;
- степень улавливания аэрозолей – не менее 99%;
- размер улавливаемых аэрозолей – 0,02- 0,2 мкм.

Следует уточнить последний параметр. Аэрозоль представляет собой химически активный уранилфторид кислого характера, который не просто задерживается древесной матрицей поглотителя, но и взаимодействует с находящейся на её поверхности и порах щелочи, образуя на поверхности поглотителя нелетучий полиуронат натрия



Опытное производство этих поглотителей осуществляло ООО «Промтехнология» (г. Томск), а также АО «АЭХК», на котором также непродолжительное время в 2009 г.

использовали ХП-МД в системе вентиляции воздуха производственных помещений. Ранее поглотители типов ХП-МД и ХП-ММД применяли для обезвреживания технологических и выбросных галогенсодержащих газов на заводе разделения изотопов АО «СХК» в очистных установках и в вентиляционных системах при атмосферном давлении, а также в коллекторах конденсационно-испарительных установок (КИУ) при давлении до 1,3 кПа. Таким образом, указанные поглотители могут быть использованы практически при любом давлении газа [4]. В настоящее время производство поглотителей прекращено вследствие непостоянства потребности предприятий.

Применение лёгкого импрегнированного органического древесного волокна в вентиляционных системах позволит решить поставленные задачи по эффективной очистке вентиляционного воздуха от HF, UF<sub>6</sub>, продуктов гидролиза последнего, как в форме газообразных соединений, так и аэрозольных частиц. Для гарантированной очистки вентиляционного воздуха от нерадиоактивных твёрдых частиц поглотителя и прочих вторичных аэрозолей не лишним будет за слоем ХП-МД разместить небольшой слой фильтровальной ткани Петрянова.

Данные вентиляционные системы, оснащённые ХП-МД или ХП-ММД, гарантированно будут очищать воздух, циркулирующий в производственных помещениях, и обеспечат выброс в атмосферу фтор-иона на уровне (0,03-0,05) мг/м<sup>3</sup> [4], то есть не превышающий законодательной санитарной нормы, равной 0,1 мг/м<sup>3</sup> [2, 12]. Из этого следует, что предельно допустимые концентрации вредных химических веществ будут обеспечены уже непосредственно после системы их улавливания и обезвреживания, и разбавление очищенных газов атмосферным воздухом с выбросом в атмосферу через высокую трубу не потребуется, что обеспечит отсутствие переноса ВХВ в другое место.

К вышесказанному необходимо добавить, что применение импрегнированных щелочью поглотителей в системах коллекторов конденсационно-испарительных установок для обезвреживания откачных газов, преимущественно химически активных фторидов, в результате технологических операций с гексафторидом урана, находящемся в аппаратах и оборудовании разделительного завода, ещё больше снизит нагрузку по фтор-иону на вентиляционные системы [13].

### Выводы

1. Проведен анализ вентиляционных систем, применяемых на заводах по разделению изотопов урана. Отмечено, что в вентиляционных системах применяют, как правило, только фильтровальную ткань ФПП, предназначенную для улавливания аэрозолей, но не улавливающую летучие фториды, такие как HF и UF<sub>6</sub>.

2. Традиционные солевые и оксидные поглотители нецелесообразно применять в вентиляционных системах вследствие их малой химической активности и повышенного гидравлического сопротивления.

3. Эффективным фильтр-поглотителем, как аэрозолей, так и летучих фторидов, является химический поглотитель на основе древесной стружки, импрегнированной гидроксидом натрия.

4. Описан метод импрегнации древесного волокна твёрдым гидроксидом натрия по видоизменённому методу Мерсера по делигнификации древесины.

5. Вентиляционные системы, оснащённые мерсеризованной древесиной, обеспечат очистку вентиляционного воздуха до значений ниже предельно допустимых концентраций летучих фторидов и аэрозолей урана на уровне (0,03-0,05) мг/м<sup>3</sup>.

### Список литературы

1. СанПиН 1.2.3685-2021 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2.
2. Громов О.Б., Корниенко М.Ю., Травин С.О. и др. Выбросы фтороводорода в атмосферу и его токсикологическое действие на природные объекты. – Химическая безопасность, 2024, Т.8, №1, С. 109-121.
3. ТУ 2568-411-05795731-2008 Фильтрующий материал ФПП 15-1,5.
4. Громов О.Б. Исследование и разработка технологии химических поглотителей на древесной основе для обезвреживания фторсодержащих газов разделительного производства. Дисс. канд. техн. наук. – М.: ОАО «ВНИИХТ», 2009, 202 с.
5. Громов О.Б., Волоснёв А.В., Утробин Д.В. и др. Изучение технических характеристик сорбентов и поглотителей для улавливания фторидных соединений в разделительном производстве изотопов урана. – ВАНТ. Сер.: Материаловедение и новые материалы, 2024, Вып. 2 (123), С. 101-109.
6. Громов О.Б., Утробин Д.В., Ахтямова М.Л. и др. Анализ способов обезвреживания фтороводорода на твёрдых поглотителях. – ВАНТ. Сер.: материаловедение и новые материалы, 2024. Вып. 1(122), С. 124.
7. Кузнецов Б.Н., Судакова И.Г., Гарынцева Н.В. и Иванченко Н.М. – Делигнификация древесины пихты... J. of Siberian Federal University. Chemistry., 2013, Т.4, №6, С. 361-371.
8. Удальцов В.А. Разработка технологического процесса делигнификации древесины берёзы в системе гидроксид калия – гидразин – изобутанол – вода. Дис-я канд. техн. наук. — Екатеринбург: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022, 155 с.
9. Громов О.Б., Щербаков В.И., Зимин Б.М. и Торгунаков Ю.Б. Взаимодействие гидроксида натрия с древесиной. – Химическая технология, 2005, №1, С. 40-43.
10. Водолазских В.В., Громов О.Б., Зернаев П.В. и др. Химический поглотитель кислых газов и способ его приготовления. Патент № 2283175 РФ, 2006.
11. Водолазских В.В., Громов О.Б., Зернаев П.В. и др. Химический поглотитель для обезвреживания галогенсодержащих и кислых газов и способ его приготовления. Патент № 2283176 РФ, 2006.
12. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 29.09.88 № 3388.
13. Громов О.Б., Травин С.О., Утробин Д.В. Утилизация технологических и обезвреживание выбросных фторсодержащих газов предприятия ЯТЦ до санитарных норм. – Актуальные проблемы урановой промышленности: сб. трудов IX МНПК, ч. 2. 7-9 ноября 2019 г. – Алматы: Казак университеті, 2019. С. 208-219.