

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,  
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

УДК 533.66.063

**ГЕНЕРАТОРЫ БИОАКТИВНЫХ НАНОАЭРОЗОЛЕЙ ЙОДИДОВ,  
БРОМИДОВ И ХЛОРИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ  
И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ**

© 2010 г. А. В. Загнитько, А. Н. Першин\*, Л. И. Иванова\*\*, Д. В. Гражданкина\*\*\*,  
А. В. Свистельник\*\*\*\*

*РНЦ “Курчатовский институт”  
Россия, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1  
E-mail: zagnitko@imp.kiae.ru*

*\*Институт органической химии РАН  
Россия, 119991, Москва, Ленинский просп., 47  
\*\*ФГУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии”  
Россия, 129626, Москва, Графский переулок, 4/9  
\*\*\*НИИ туберкулеза  
Россия, 630040, Новосибирск, ул. Охотская, 81а*

Поступила в редакцию 23.04.2009 г.  
После доработки 02.07.2009 г.

Описаны генераторы биоактивных наноаэрозолей солей галогенидов щелочных и щелочноземельных металлов с размером частиц от 0.005 до 0.5 мкм и массовой производительностью от 0.5 до 50 мкг/с. Приборы можно использовать для галатерапии и борьбы с йододефицитом человека.

**ОПИСАНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ**

Разработанные нами генераторы биологически активных наноаэрозолей солей йодидов, хлоридов и бромидов щелочных и щелочноземельных металлов (лития, калия, натрия, магния, кальция) можно использовать для галатерапии человека положительно и отрицательно заряженными морскими аэрозольными наночастицами в бытовых и офисных помещениях с площадью от 10 до 100 м<sup>2</sup>, а также для установки в системах кондиционирования воздуха с расходом от 100 до 10000 м<sup>3</sup>/ч [1–4]. Поступление в организм человека биоактивных наноаэрозолей осуществляется при дыхании — столь мелкие аэрозольные частицы эффективно осаждаются на слизистой оболочке бронх и в респираторных отделах дыхательного тракта с последующим всасыванием гигроскопичных солей в кровь.

Принципиальная схема генератора приведена на рисунке. В металлическом корпусе 1 прибора размещены блоки питания 8 и 9, вентилятор 7, электропечь 2, корундовая капсула 4 с сертифицированными для медицинских целей солями галогенидов щелочных и щелочноземельных металлов 5, например, солью йодистого калия (ЧДА, ГОСТ 4232-74, KI > 99.7% по массе), используемой для решения проблемы йододефицита [1]. Для повышения безопасности в случае спонтанного разрушения капсулы 4 под ней установлена подставка 3 для сбора жидкого солевого

расплава 5. Подача в генератор атмосферного воздуха с расходом  $Q = 10\text{--}20$  м<sup>3</sup>/ч осуществляется через защитную сетку 10. Характерные размеры модели для бытовых и офисных помещений площадью до 20 м<sup>2</sup> составляют 120 × 130 × 350 мм, потребляемая мощность 70 Вт.

Электропечь СУО-8Ю08/7,5 “КИ” с вентилятором для нагревания галогенидов металлов соответствует требованиям нормативных документов ГОСТ 12.2.007.9-93 и сертификату соответствия от 2007 г. Температура рабочего объема печи ≤750°C в процессе работы поддерживается постоянной в ручном или автоматическом режимах по сигналу термодары хромель–алюмель. Уровень шума вентилятора не превышает 20–22 дБ.

Характеристики генераторов проверяли на стенде для испытания высокоэффективных фильтров по наиболее проникающим субмикронным аэрозольям [5]. Массовую производительность измеряли весовым анализом осадка частиц, отобранных на аналитические стекловолоконистые и металлические мембранные фильтры.

Для генерации наноаэрозолей использовался метод спонтанной термоконденсации пересыщенных паров солей металлов при их охлаждении от 700–750°C до 20–40°C [6]. Средний геометрический диаметр и стандартное геометрическое отклонение нормального распределения частиц по размерам [6] определяли диффузионным методом — по результатам измерения коэффициента

диффузии частиц, проходящих через веерный модельный фильтр [7]. Концентрацию частиц измеряли электростатическим детектором — по величине тока переноса аэрозоля, заряженного униполярными газовыми ионами в зоне коронного разряда [8]. Для определения зарядов и доли заряженных частиц использовался ультрамикроскопический способ и осаждение в плоском электрическом конденсаторе [8]. Термодинамическая стабильность материалов и солей металлов в атмосфере влажного комнатного воздуха при температурах до 750–800 °С анализировалась методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуцированной связанной плазмой (ICP-AES), а также дифференциально-термического и термогравиметрического анализа (DTA-TGA).

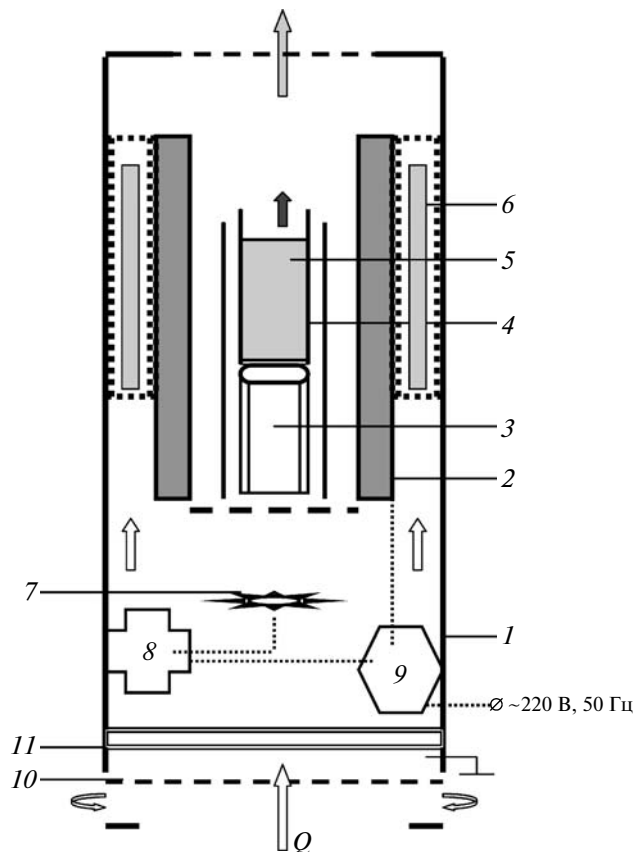
Для помещений, расположенных в районах интенсивного движения автотранспорта с повышенной концентрацией монооксида углерода (CO) в атмосферном воздухе (2–5 ПДК), разработана модификация прибора с молекулярным фильтром для окисления ядовитого газообразного CO до CO<sub>2</sub> на гранулах пористого марганцево-медного катализатора 6. Его средняя температура составляет 70–80 °С.

Специальные модели генераторов оснащены электростатическим фильтром 11 для стерилизации и очистки комнатного воздуха от дисперсных микрзагрязнений размером >0.01 мкм с эффективностью >99.9% [9]. Отличительными особенностями фильтра являются: низкое гидродинамическое сопротивление (<5 Па), относительно большая пылесмолемкость (до 50 мг/см<sup>2</sup>) и возможность непрерывной стерилизации уловленного фильтра от патогенной флоры (в том числе от микроорганизмов, бактерий и вирусов) озоном, который далее эффективно улавливается на гранулах катализатора 6. Концентрация O<sub>3</sub> на выходе прибора меньше среднесуточной ПДК в воздухе для населенных мест (<0.03 мг/м<sup>3</sup>).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали наблюдения, генерируемый наноаэрозоль достаточно устойчив в атмосферном воздухе, легко перемешивается с естественными и искусственными конвективными потоками и переносится ими в различные участки помещения, практически не выпадая на пол и стены за счет инерционного захвата и седиментации. В зависимости от режима работы и типа прибора, а также состава солевых композиций скорость генерации аэрозольных частиц варьируется от 0.5 до 50 мкг/с. Характерные размеры частиц составляют 0.08–0.25 мкм.

Анализ данных (DTA-TGA) показал, что для целого ряда соединений йодидов, бромидов и хлоридов щелочных и щелочноземельных метал-



Принципиальная схема генератора биоактивных наноаэрозолей. 1 — корпус; 2 — электропечь; 3 — подставка; 4 — корундовая капсула; 5 — солевой расплав; 6 — катализатор; 7 — вентилятор; 8 и 9 — блоки питания вентилятора и электропечи; 10 — защитная сетка; 11 — электростатический фильтр.

лов с кислородом, азотом и водяными парами в процессе их периодического нагрева до температуры 700–750 °С разложения и побочных реакций практически не происходит. При охлаждении паров солей до температуры 12–30 °С в потоке воздуха с относительной влажностью от 10 до 65% образуются наноаэрозоли. Это согласуется с термодинамическими расчетами.

Отметим, что молекулы KI стабильны в потоке горячего ( $\leq 750$  °С) воздуха или азота. При температуре  $\sim 676$  °С иодид калия имеет единственный фазовый переход из твердого состояния в жидкое. Кривые DTA и TGA, измеренные для KI в атмосфере комнатного воздуха и в азоте особой чистоты (99.995%), практически совпадают. Был использован йодистый калий со сроком хранения 3 мес., 1 год, 5 и 30 лет в стандартной стеклянной таре на воздухе. Результаты весового анализа показали, что стеклообразный расплав KI в цилиндрических корундовых капсулах диаметром 14 и 23 мм слабо гигроскопичен — изменение его массы (15–20 г) за счет адсорбции паров воды соста-

вило <0.1% масс. за год хранения в комнате при температуре воздуха 15–30°C.

В отличие от KI, молекулы LiI и CaI<sub>2</sub> реагируют с кислородом при повышенной температуре (>200°C) с интенсивным образованием наноаэрозолей молекулярного йода, что недопустимо в процессе эксплуатации генераторов.

Наконец, анализ данных ICP-AES показал, что материал корундовых капсул устойчив к воздействию жидких расплавов солей при температуре до 750°C в окислительной воздушной атмосфере, а также выдерживает термоудары при изменении температуры от 750 до 30°C в течение 10–15 мин. Значительных коррозионных дефектов материала практически не наблюдалось при контроле в течение года.

Разработанные генераторы [2–4] позволяют создавать в атмосфере жилых и общественных помещений наноаэрозоли KI–NaI с концентрацией йода в усваиваемой (ионной) форме, близкой к концентрации этого элемента в морском воздухе (до 30 мкг/м<sup>3</sup>). Для обеспечения медицинских норм потребления йода в ионной форме в стандартных жилых комнатах площадью от 10 до 30 м<sup>2</sup> необходимо обеспечить генерацию наноаэрозолей йодидов калия и натрия с массовой производительностью от 1 до 5 мкг/с. Известно [10], что зависимость давления  $P$ , Торр, насыщенных паров галогенидов щелочных и щелочноземельных металлов от температуры  $T$ , К, удовлетворительно описывается уравнением

$$\lg P = -A/T + B,$$

где  $A$  и  $B$  – константы. В частности, для йодистого калия  $A \approx 8505$  и  $B \approx 8.338$ , и давление составит  $\approx 0.5$  Торр при 710°C. Для корундовых капсул диаметром 14 мм производительность варьируется от 0.5 до 10 мкг/с при увеличении температуры от 690 до 760°C.

После проведения испытаний приборы были сертифицированы в управлении Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потреби-

телей и благополучия человека по г. Москве в 2007 г. Их безопасность подтверждена Гигиеническим сертификатом Центра Госсанэпиднадзора Минздрава РФ на генераторы морского воздуха СУО-08/7,5 “КИ” с регистрацией ТУ в Роспотребнадзоре.

Генераторы морского воздуха перспективны для решения проблем профилактического оздоровления населения, а также для защиты от действия радиации и предупреждения накопления радиоактивного йода в щитовидной железе рабочего персонала атомных станций и других объектов Росатома. Приборы запатентованы в РФ [2, 3, 9].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Велданова М.В., Скальный А.В.* Йод знакомый и не знакомый. Петрозаводск: ИнтелТех, 2004.
2. *Загнитько А.В., Першин А.Н.* Патент 2276608 РФ. Класс МПК А 61L 9/14 // БИ. 2006. № 14. С. 11.
3. *Загнитько А.В., Першин А.Н., Мозалевская М.А.* Патент 23345560 РФ. Класс МПК В05В 17/00 // БИ. 2008. № 27. С. 23.
4. *Загнитько А.В., Першин А.Н.* // ПТЭ. 2006. № 4. С. 164.
5. *Загнитько А.В., Ковтун В.В.* // Электрон. промышленность. 1991. № 4. С. 59.
6. *Фукс Н.А., Сутугин А.Г.* // Успехи химии. 1968. Т. 37. Вып. 11. С. 1965.
7. *Кири А.А., Загнитько А.В., Чечуев П.В.* // ЖФХ. 1981. Т. 55. № 12. С. 3034.
8. *Загнитько А.В., Кири А.А., Стечкина И.Б.* // ЖФХ. 1988. Т. 62. № 11. С. 3058.
9. *Загнитько А.В., Першин А.Н.* Патент 2352382 РФ. Класс МПК В01D53/86 // БИ. 2009. № 11. С. 16.
10. *Ивановский Л.Е., Некрасов В.Н.* Газы и ионные расплавы. М.: Наука, 1979.