

В.В. Рашетько

ДИСПЕРСНОСТЬ И ИНГАЛЯЦИОННЫЙ РИСК РЕПЕЛЛЕНТОВ

Научный руководитель: ассист. А.А. Яцковская

Кафедра медицинской и биологической физики

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

V.V. Rashetko

DISPERSITY AND INHALATION RISK OF AEROSOL REPELLENTS

Tutor: assistant A.A. Yatskovskaya

Department of medical and biological physics

Belarusian State Medical University, Minsk

Резюме. В ходе исследования четырёх образцов аэрозольных репеллентов, различающихся по составу и ценовому сегменту, методом гравитационной седиментации и оптической микроскопии определён дисперсный состав частиц. Установлено, что через 60 минут после распыления доля частиц размером менее 5 мкм (респирбельная фракция) составила от 80% до 100% в зависимости от образца.

Ключевые слова: аэрозоли, репелленты, седиментация, респирбельная фракция.

Resume. In an study of four aerosol repellent samples differing in composition and price segment, the particle size distribution was determined by gravitational sedimentation and optical microscopy. It was found that 60 minutes after spraying, the proportion of particles smaller than 5 μm (respirable fraction) ranged from 80% to 100% depending on the sample.

Keywords: aerosols, repellents, sedimentation, respirable fraction.

Актуальность. В тёплый сезон люди активно используют аэрозольные репелленты для защиты от кровососущих насекомых. При распылении образуется облако мельчайших частиц, которое неизбежно вдыхается пользователем. В медицинской физике установлено, что частицы разного диаметра проникают на разную глубину дыхательной системы. Согласно ГОСТ Р ИСО 7708–2006, частицы размером менее 10 мкм (респирбельная фракция) способны достигать альвеолярного отдела лёгких, минуя защитные механизмы верхних дыхательных путей [1]. Однако количественные характеристики дисперсного состава конкретных репеллентов в литературе представлены недостаточно, что обосновывает актуальность настоящего исследования.

Цель: определить дисперсный состав четырёх аэрозольных репеллентов, относящихся к разным ценовым сегментам, и оценить долю частиц размером менее 5–10 мкм, представляющих ингаляционный риск.

Задачи:

1. Отобрать четыре образца репеллентов с разным составом действующего вещества.
2. Провести седиментацию частиц в вертикальной камере с экспозицией 10, 30 и 60 минут.
3. Рассчитать теоретический размер частиц по формуле Стокса.
4. Измерить реальный размер частиц под микроскопом и сравнить с расчётным.
5. Определить долю респирбельной фракции для каждого образца.
6. Дать практические рекомендации по безопасному использованию.

Материалы и методы. Исследованы четыре образца аэрозольных репеллентов: образец №1 – ДЭТА эконом-класса в спиртовом растворе; образец №2 – ДЭТА среднего ценового сегмента с добавлением отдушек и стабилизаторов; образец №3 – на основе IR3535; образец №4 – на основе пикаридина премиум-класса (пропеллент – сжатый азот). Все образцы имели одинаковую длину факела распыления – 60 см.

Методологической основой исследования послужила формула Стокса для скорости гравитационного осаждения сферических частиц:

$$v = \frac{\rho \cdot g \cdot d^2}{18\eta} (1.1)$$

где v – скорость оседания, м/с; ρ – плотность частицы (1000 кг/м^3); g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$); d – диаметр частицы, м; η – динамическая вязкость воздуха ($1,8 \times 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$). Для высоты камеры 60 см расчётное время оседания частиц размером 20 мкм, 10 мкм и 5 мкм составило 10, 30 и 60 минут соответственно.

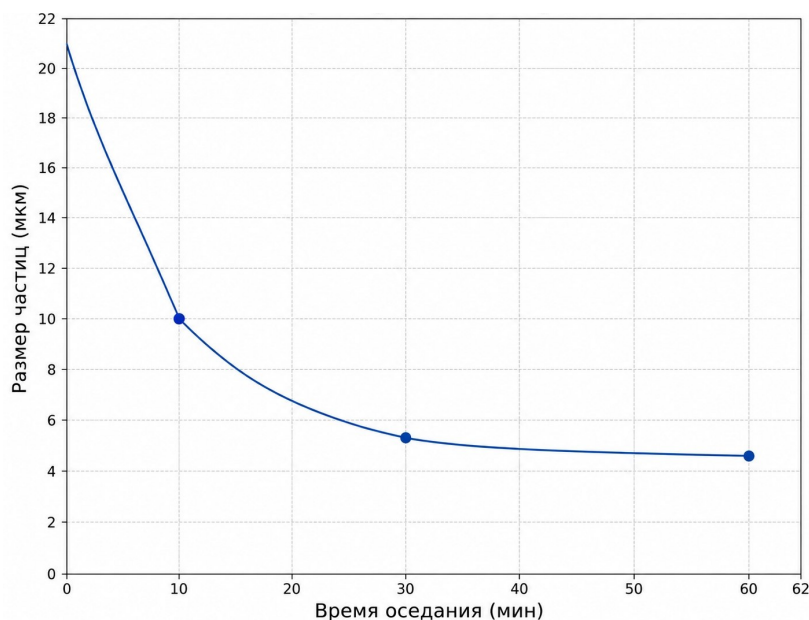


Рис. 1 – Расчетная зависимость времени оседания от размера частиц

Для эксперимента была сконструирована вертикальная седиментационная камера высотой более 70 см из подручных материалов. Распыление каждого образца производилось строго вертикально вверх, чтобы крупные капли не попадали непосредственно на предметные стёкла. Сразу после распыления камера выдерживалась 3 минуты для гашения турбулентности и осаждения самых крупных частиц. Затем под камеру подкладывались предметные стёкла, предварительно смазанные тонким слоем вазелинового масла (для предотвращения испарения и фиксации капель). Стекла экспонировались в течение 10, 30 и 60 минут, после чего накрывались покровными стёклами с маслом. Для каждого образца и каждого времени экспозиции измерялось не менее 50 частиц с помощью микроскопа и калиброванного окуляр-микрометра. Измеренные частицы распределялись по размерным категориям: менее 5 мкм, 5-10 мкм, 10-20 мкм, около 20 мкм, более 20 мкм.



Рис. 2 – Седиментационная камера в процессе эксперимента

Результаты и их обсуждение. Полученные данные сведены в таблицу. Наблюдается чёткая седиментационная динамика: при экспозиции 10 минут преобладают крупные частицы размером 10-20 мкм, при экспозиции 30 минут доминирует фракция 5-10 мкм, при экспозиции 60 минут основную массу составляют частицы менее 5 мкм. Это полностью соответствует теоретическим предсказаниям формулы Стокса(1.1).

Табл. 1. Размер обнаруженных частиц репеллентов

Образец № 1(ДЭТА) эконом–класса					Образец № 2(ДЭТА) среднего сегмента				
Время	<5 мкм	5–10 мкм	10–20 мкм	≈20 мкм	Время	<5 мкм	5–10 мкм	10–20 мкм	≈20 мкм
10 мин			38	12	10 мин			38	12
30 мин		47	3		30 мин		49	1	
60 мин	46	4			60 мин	40	4		6
Образец № 3(IR3535) среднего сегмента					Образец № 4(пикаридин) премиум–сегмента				
Время	<5 мкм	5–10 мкм	10–20 мкм	≈20 мкм	Время	<5 мкм	5–10 мкм	10–20 мкм	≈20 мкм
10 мин			37	13	10 мин			47	3
30 мин		45	2	3	30 мин	4	45	1	
60 мин	50				60 мин	50			

Через 60 минут после распыления доля респирабельной фракции (частиц менее 5 мкм) составила: для образца №1 - 92%, для образца №2 - 80%, для образцов №3 и

№4 - 100%. Подавляющее большинство частиц, остающихся в воздухе после распыления репеллента, относятся к респирабельной фракции и теоретически способны достигать альвеолярного отдела лёгких. В образце №2 на 60–минутной экспозиции обнаружены 6 крупных частиц (>20 мкм), что может быть связано с вторичным срывом частиц со стенок камеры или особенностями состава (наличие отдушек и стабилизаторов).

Выводы:

1. Экспериментально подтверждено, что все исследованные образцы репеллентов генерируют значительное количество частиц респирабельной фракции (от 80% до 100% частиц имели размер менее 5 мкм).

2. Доля респирабельной фракции зависит от состава и типа пропеллента: наиболее дисперсными оказались образцы на основе IR3535 и пикаридина (100% частиц <5 мкм), наименьшую долю показал образец №2 (80%).

3. Полученные данные количественно обосновывают предупреждение производителей «избегать вдыхания» и могут быть использованы для разработки более безопасных составов и рекомендаций по применению.

4. Для минимизации ингаляционного риска рекомендуется распылять репелленты на открытом воздухе или в хорошо проветриваемых помещениях, избегая задержки дыхания в облаке аэрозоля.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 7708–2006. Качество воздуха. Определение фракций частиц при отборе проб для оценки воздействия на здоровье. – М. : Стандартиформ, 2006. – С.10.
2. Ремизов, А. Н. Медицинская и биологическая физика : учебник / А. Н. Ремизов. – М. : Дрофа, 2015. – С. 560 .
3. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю. Г. Фролов. – М. : Химия, 1989. – С. 464 .
4. Мартынова, Е. А. Химические средства защиты от насекомых / Е. А. Мартынова, В. П. Дремова. – М. : Медицина, 2018. – С. 112 .