

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА / CONSTRUCTION ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2020.17.1>

ВОЗДУШНО-ПЫЛЕВОЙ РЕЖИМ ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Научная статья

Морозов А.А.^{1*}, Рымаров А.Г.²

^{1,2}НИУ Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (moralex1993@mail.ru)

Аннотация

В данной работе исследовалась математическая модель воздушно-пылевого режима жилого помещения (спальни). Целью работы являлось моделирование перемещения воздушных и пылевых потоков в жилом помещении под воздействием конвекции нагретых поверхностей радиатора и инфильтрации воздуха через оконный проём. Моделирование производилось в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе исследования была выявлена недостаточная эффективность удаления аллергенных пылевых частиц из жилого помещения, а также образование застойных зон, что оказывает негативное воздействие на здоровье находящихся в помещении людей.

Ключевые слова: воздушный режим, пылевой режим, моделирование, аллергены, пыльца, пылевой клещ.

AIR-DUST CONDITIONS OF A LIVING ROOM

Research article

Morozov A.A.^{1*}, Rymarov A.G.²

^{1,2}Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

* Corresponding author (moralex1993@mail.ru)

Abstract

In this work, we studied a mathematical model of the air-dust conditions of a living room (bedroom). The aim of the work was to simulate the movement of air and dust flows in a living room caused by the influence of convection of heated surfaces of the radiator and air infiltration through the window opening. Modeling was performed in the ANSYS Fluent software package. The study revealed a lack of effectiveness in removing allergenic dust particles from the living room, as well as the formation of stagnant zones, which has a negative impact on the health of people in the room.

Keywords: air conditions, dust conditions, modeling, allergens, pollen, dust mite.

Введение

В последнее время математическое моделирование процессов газовой динамики, как инструмент решения научно-технических задач, получило широкое развитие. Нового, более высокого уровня достигли численные методы, лежащие в основе математического моделирования. [1] Моделирование воздушно-пылевого режима жилого помещения позволит определить реальные параметры микроклимата в помещении и оценить эффективность существующих вентиляционных систем.

Воздушный режим помещения гражданского здания включает в себя: конвективные струи, восходящие от нагретых источников и нисходящие от холодных поверхностей. Конвективная воздушная струя - турбулентный вертикальный поток воздуха, возникающий в результате его теплообмена с неизотермической поверхностью. Конвективная воздушная струя в помещении возникает на поверхности нагретого оборудования (сушилки, печи, горячие ванны и прочего) и поверхности строительных ограждений в первом случае возникают восходящие компактные конвективные воздушные струи, а у поверхностей наружных ограждений в холодный период года — ниспадающие плоские (пристенные). Панельные отопительные приборы создают интенсивный восходящий поток, локализующийся в пристенной области и активно взаимодействующий с нисходящим потоком воздуха вдоль ограждения. [2]

Инфильтрация и эксфильтрация наружного воздуха через ограждения также вызывает определенную подвижность воздуха в помещении. Ограждающие конструкции и инженерное оборудование формируют внутреннюю среду жилых и общественных зданий. При этом ведущая роль при формировании микроклимата гражданских зданий отводится воздухопроницаемости ограждающих конструкций. [3]

Механическая вентиляция сама по себе влияет на воздушный режим помещений, но также стоит отметить присутствие ей образования застойных зон, характеризующихся большой концентрацией пыли. [4]

Пылевой режим помещения представляет собой перемещающиеся под воздействием воздушного режима пылевые частицы.

Главными опасными элементами пыли жилых помещений являются аллергены пылевого клеща и пыльца. Продуцируемые клещами аллергены являются важнейшим причинным фактором развития аллергических заболеваний: аллергического ринита, атопического дерматита и бронхиальной астмы. Наивысшая экспозиция

аллергенов клещей возникает во время уборки квартиры пылесосом, застилания постели, выбивания ковров и т.д., когда пыль вместе с содержащимися в ней ал-аллергенами интенсивно перемешивается с воздухом помещения. В частности, ВОЗ определила аллергию к домашнему клещу как глобальную проблему для здоровья. [5] Размер аллергенов, продуцируемых клещами, составляет 10-40 мкм (средний 22 ± 6 мкм).

Также важным фактором отрицательного воздействия пыли на здоровье человека является пыльца, содержащаяся в ней. Проведенные научные исследования, свидетельствуют о том, что концентрация пыльцы в жилых помещениях может быть достаточно высокой. Зимой, когда пыльцевых зерен в атмосферном воздухе нет, пыльца может сохраняться в пыли помещений, где часто достигает достаточно высокой концентрации. Например, в одном американском исследовании было обнаружено, что в 0,1 г домашней пыли содержится 5500000 частичек пыльцы. Достаточно 50 пыльцевых зерен, попавших на слизистую оболочку носа, чтобы спровоцировать приступ аллергического насморка. Предельно допустимая концентрация составляет 50 частиц/м³ воздуха. В домашней пыли пыльца выявляется постоянно на протяжении всего года. Размеры пыльцевых зерен колеблются примерно от 10 до 200 мкм наиболее аллергенные виды пыльцы имеют размер от 20 до 30 мкм).

Для оценки влияния воздушно-пылевого режима жилого помещения на здоровье человека была построена его модель в среде ANSYS Fluent. Это программный комплекс, предназначенный для решения задач вычислительной гидрогазодинамики, численного трехмерного моделирования движения потоков, процессов турбулентности, теплопередачи, горения и химических реакций.

Была создана геометрическая модель помещения размером 3x3x3 метра с наружной стеной, окном, радиатором и спальным местом.

В качестве граничных условий было задано (для средней температуры наружного воздуха в марте)

Внутренних поверхности помещения: 20°C.

Температура внутренней поверхности наружной стены: 18°C.

Температура поверхности окна: 16°C.

Температура поверхностей радиатора: 56/52°C

Расход инфильтрующегося воздуха: 0,012 кг/с

Однако было необходимо определить размеры, плотность, массу и расход рассматриваемых пылевых частиц. Рассматривались частицы пыльцы берёзы (как самой аллергенной) и аллергены пылевого клеща.

Масса частиц пыльцы берёзы была определена исходя в ходе анализа научной литературы [6], [7] и дальнейших расчётов из известных плотности и объёма (рассчитывался исходя из её диаметра, 20 мкм, [8]) и составила $4.6 \cdot 10^{-12}$ кг. Расход пыльцы через приточное отверстие был определён исходя из известной массы и концентрации частиц при которой аллергенная реакция присутствует у большинства населения с любой чувствительностью к данному виду пыльцы (1500 шт./м³ воздуха). Далее был определён расход пыльцы: $7 \cdot 10^{-11}$ кг/с.

Что касается аллергенных фекальных шариков пылевого клеща было задано расположение определённого количества частиц на поверхности кровати. Для определения этого количества был проведён анализ научных источников [9], [10] в ходе которого были найдены значения концентрации аллергена Der p 1 на м². Далее исходя из концентрации данного аллергена в фекальных шариках и их массы было определено их количество и суммарная масса ($4 \cdot 10^{-10}$ кг) и плотность (592 кг/м³). Чтобы задать стационарное положение данных частиц на поверхности кровати был задан расход $4 \cdot 10^{-11}$ кг/с длительностью в 0.1 секунды. Данные параметры были учтены при настройке расчёта в ANSYS Fluent.

В качестве модели мультифазного потока был выбран режим Discrete Phase Mode. В данном режиме использовался подход Лагранжа к описанию движения сплошной среды. Лагранжев метод описания движения относится к типу отсечных. В некоторый (начальный) момент времени каждая из жидких частиц маркируется путем присвоения ей значений координат в данный момент времени. В дальнейшем прослеживается движение каждой жидкой частицы индивидуально. Далее был произведён расчёт воздушно-пылевой модели рассматриваемого помещения для периода в 100 сек с шагом в 0.5 сек.

Расчёт был успешно завершён и была представлена модель воздушно пылевого режима помещения, представленная ниже (Рис. 1-3)

Полученная модель воздушного режима свидетельствует о наличии застойных зон в зоне дыхания человека.

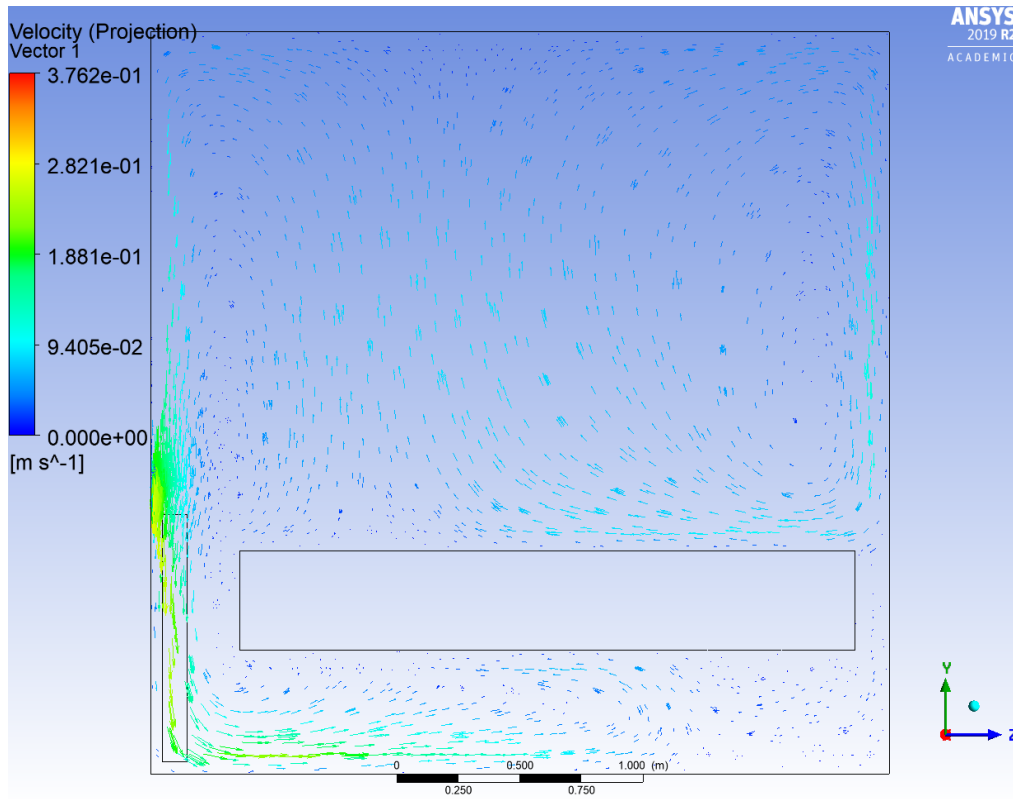


Рис. 1 – Модель воздушного режима рассматриваемого помещения

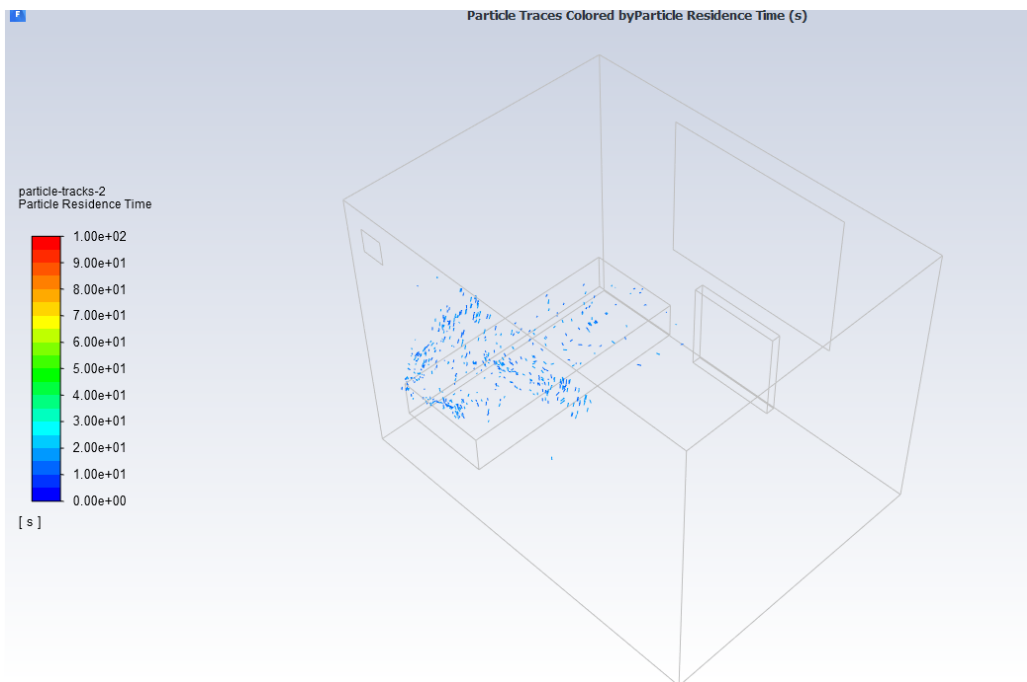


Рис. 2 – Модель перемещения аллергенов пылевых клещей.

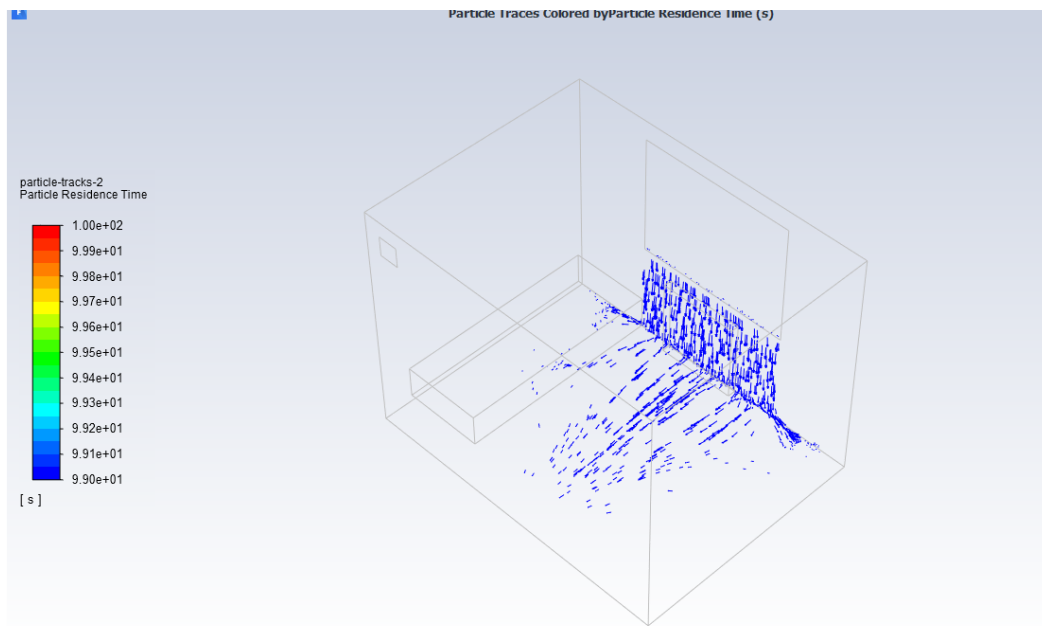


Рис. 3 – Модель перемещения частиц пыли

Модель перемещения пылевых частиц свидетельствует о том, что пыльца, попадая в помещение при воздухообмене в $36 \text{ м}^3/\text{ч}$ практически сразу оседает и не представляет при отсутствии внешнего воздействия опасности для человека. Однако аллергены пылевого клеща, располагающиеся на поверхности кровати поднимаются в воздух и практически не оседают, представляя опасность располагающемуся на ней человеку.

Заключение

В ходе проделанного исследования была построена модель воздушно-пылевого режима жилого помещения. Полученные данные свидетельствуют о том, что в рассматриваемый период года пылевой режим помещения представляет аллергенную опасность для находящихся в нём людей, а система вентиляции не обеспечивает должное удаление аллергенов, содержащихся в пыли.

Список литературы / References

1. Скляр К.А. Моделирование взаимодействия вентиляционных потоков с конвективными потоками от источников теплоты: автореферат к диссертации канд. технических наук. ГОУВПП Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. Воронеж. 2008. С.1
2. Яковлев П.В. Влияние отопительных приборов на параметры микроклимата помещений // Вестник АГТУ. 2009. №1. С.19-23
3. Шалагин И.Ю. Аспекты теплотехнического расчета легких ограждающих конструкций// Инженерный вестник Дона. 2015. №2 С. 40
4. Морозов А.А. Движение пыли в жилом помещении// Сборник докладов внутривузовской научно-технической конференции «Дни студенческой науки». Институт инженерно-экологического строительства и механизации. МГСУ. Москва. 2018. С. 241-245
5. Глобальная стратегия ВОЗ. Бронхиальная астма // Пульмонология. – 1996. – Прил.1. С.165
6. Желтикова Т.М. Это что-то новенькое! // Астма и аллергия. 2002. №1. С.7
7. Головкин В.В., Истомин В.Л., Куценогий К.П. Определение массы индивидуальных пылевых зерен древесных растений и сорных трав, произрастающих в Западной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. №3. С.131-135
8. Исаков И.Ю., Мацнева М. А. Определение размеров и жизнеспособности пылицы местных и интродуцированных видов берез // Лесотехнический журнал. 2015. №3 (19). С.33-41
9. Мокроносова М. А., Коровкина Е. С. Аллергия к клещам домашней пыли с позиций молекулярной аллергологии // Медицинская иммунология. 2012. №4-5. С. 279-288
10. Mihrshahi, S., Marks, G., Vanlaar, C., Tovey, E. and Peat 3*, J. (2002), Predictors of high house dust mite allergen concentrations in residential homes in Sydney. Allergy, 57. – P. 137-142.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Skljarov K.A. Modelirovanie vzaimodejstviya ventiljacionnyh potokov s konvektivnymi potokami ot istochnikov teploty: avtoreferat k dissertacii kand. tehniceskix nauk [Modeling the interaction of ventilation flows with heat sources: abstract to the dissertation Ph.D. in Technology] / K.A. Skljarov// GOUVPB Voronezhskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet [Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering]. – Voronezh. – 2008. – P.1 [In Russian]

2. Jakovlev P.V. Vlijanie otopitel'nyh priborov na parametry mikroklimata pomeshhenij [The effect of heating devices on the microclimate of the premises] / P.V. Jakovlev // Vestnik AGTU [Bulletin of Astrakhan State Technical University]. – 2009. – №1. – P.19-23 [In Russian]
 3. Shalagin I.J. Aspekty teplotehničeskogo rasčeta legkih ograzhdajushhih konstrukcij [Aspects of thermal engineering calculation of light building envelopes] / I.J. Shalagin // Inženernyj vestnik Dona [Engineering bulletin of Don]. – 2015. – №2. – P.40 [In Russian]
 4. Morozov A.A. Dvizhenie pyli v zhilom pomeshhenii [Dust movement in the living room] / A.A. Morozov // Sbornik dokladov vnutrivuzovskoj nauchno-tehničeskoj konferencii «Dni studencheskoj nauki». Institut inženerno-jekologičeskogo stroitel'stva i mehanizacii. MGSU. [Collection of reports of the intra-university scientific and technical conference "Days of Student Science". Institute of Environmental Engineering and Mechanization. Moscow State University of Civil Engineering]. – 2018. – P. 241-245 [In Russian]
 5. Global'naja strategija VOZ. Bronhial'naja astma [WHO global strategy. Bronchial asthma] // Pul'monologija [Pulmonology]. – 1996. – Attachment №1. – P.165 [In Russian]
 6. Zheltikova T.M. Jeto čto-to noven'koe [It's something new] / T.M. Zheltikova // Astma i allergija [Asthma and allergies]. – 2002. – №1. – P.1 [In Russian]
 7. Golovko V.V., Istomin V.L., Kucenogij K.P. Opredelenie massy individual'nyh pyl'cevyh zeren drevesnyh rastenij i sornyh trav, proizrastajushhih v Zapadnoj Sibiri [Determination of the mass of individual pollen grains of woody plants and weeds growing in Western Siberia] / V.V. Golovko, V.L. Istomin, K.P. Kucenogij // Interjekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]. – 2012. – №3. –P.131-135 [In Russian]
 8. Isakov I.J., Macneva M.A. Opredelenie razmerov i zhiznesposobnosti pyl'cy mestnyh i introducirovannyh vidov berez [Determining the size and viability of pollen from local and introduced species of birch] / I.J. Isakov, M.A. Macneva // Lesotehničeskij zhurnal [Forestry magazine]. – 2015. – №3 (19). – P.33-41 [In Russian]
 9. Mokronosova M.A., Korovkina E. S. Allergija k kleshham domashnej pyli s pozicij molekularnoj allergologii [Allergy to house dust mites from the standpoint of molecular allergology] / M.A. Mokronosova, E.S. Korovkina // Medicinskaja immunologija [Medical immunology]. – 2012. – №4-5. – P. 279-288 [In Russian]
 10. Mührshahi, S., Marks, G., Vanlaar, C., Tovey, E. and Peat 3*, J. (2002), Predictors of high house dust mite allergen concentrations in residential homes in Sydney. *Allergy*, 57. – P. 137-142.
-
-