

Маусумбекова С.Д., Кан К., Тенизбай Р.

e-mail: saulemaussumbekova@gmail.com

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

г. Алматы

Численное исследование влияния стратификации по температуре на распространение вредных газов в атмосфере

В работе построена компьютерная модель для определения распространения вредных примесей в атмосфере. Приведены анализ и результаты расчетов, определяющих распределение концентраций вредных примесей с учетом различного градиента температуры. Проведены расчеты при различных скоростях выброса из устья точечного источника. Исследовано влияние температуры в приземном слое атмосферы на динамику концентрации вредных примесей от точечного источника. Получены результаты, позволяющие прогнозировать форму факела и его протяженность.

Ключевые слова: стратификации по температуре, модель турбулентности, осредненные уравнения по Рейнольдсу, концентрации вредных веществ.

Жұмыста атмосферада зиянды қоспалардың таралу динамикасын анықтауға арналған компьютерлік модель құрылды. Ауа температурасының түрлі градиенті ескеріліп, зиянды қоспалардың концентрациясының таралуы сандық эксперименттер арқылы анықталып, есептеулердің нәтижелеріне талдау жүргізілді. Есептеу нүктелік көзден әртүрлі жылдамдықтар үшін жүргізілді. Атмосфераның беттік қабатындағы температураның нүктелік көзден тараған зиянды қоспалардың динамикасына әсері зерттелді. Алаудың нысанын және оның мөлшерін болжауға мүмкіндік беретін нәтижелер алынады.

Кілттік сөздер: температура стратификасы, турбуленттік модель, орташаланған Рейнольдс теңдеулері, зиянды қоспалар концентрациясы.

The computer model has constructed to determine the propagation of harmful impurities in the atmosphere. The analysis and results of calculations determining the distribution of concentrations of harmful impurities taking into account a different temperature gradient are given. Calculations were made for different velocities from the source. The influence of temperature in the surface layer of the atmosphere on the dynamics of the concentration was studied. The results are obtained, which allow to predict the shape of the torch and its extent.

Key words: temperature stratification, turbulence model, averaged Reynolds equations, concentration of harmful substances.

Введение. С каждым днем экология окружающей среды ухудшается и привлекает все больше внимания в научном сообществе. Атмосфера, являющая собой газовую оболочку, покрывающую всю Землю и защищающую земную поверхность от губительного влияния ультрафиолета, испускаемого Солнцем, больше всего страдает от деятельности, развернутой на поверхности [1].

В [2] исследуются процессы распространения облаков легких и нейтральных ОХВ (опасных химических веществ) при помощи численного моделирования. Выбрана стандартная к-ε модель – математическая модель

турбулентного несжимаемого движения газа в поле ветра, состоящая из уравнения неразрывности, соединенных по Рейнольдсу уравнений движения, уравнения энергии для температуры, двух уравнений переноса турбулентных характеристик k , ε и соотношения, связывающего турбулентную вязкость с турбулентными характеристиками. Данная система уравнений решается с применением пакета FLUENT [3]. Расхождение между распределениями объемных концентраций, полученных экспериментальным путем и рассчитанных с использованием аналогичной модели при изотермии, составляет не более 10 %. Данный факт подтверждает, что численный метод достаточно точно отображает реальность [4].

В [5] проведен анализ математических моделей распространения примесей от точечных источников. Описаны такие модели, как модель Эйлера, модель Лагранжа, модель Ханна и др. Результатом исследования послужило установление факта о том, что построение единой классификации моделей распространения примесей от точечных источников представляет собой трудноразрешимую задачу в виду многогранности и многоаспектности подходов к моделированию.

Рассеивание вредных примесей в атмосфере напрямую связано с метеорологическими условиями в данной области.

Неблагоприятные метеорологические условия могут препятствовать рассеиванию вредных газов. Одним из таких условий является распределение температуры по вертикали, объясняемое способностью земной поверхности поглощать или излучать теплоту [1].

Компьютерное моделирование позволяет нам прогнозировать направление распространения вредных газов в атмосфере, что подчеркивает актуальность данной темы.

Основная часть. Физическая постановка задачи. В настоящей работе будем рассматривать задачу о распространении концентрации вредных веществ в атмосфере, выбрасываемых промышленными предприятиями через точечные источники (трубы) с учетом влияния стратификации температуры.

В качестве участка приземного слоя атмосферы выберем прямоугольник с шириной 60 м и высотой 30 м. Точечный источник (трубу) разместим на расстоянии 4 метров от левой границы. Диаметр устья источника равен 1.2 м, высота источника – 7 м.

На рисунке 1 схематически изображена расчетная область.

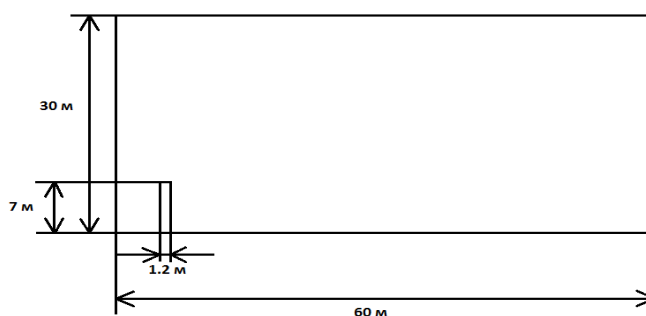


Рисунок 1. Схема расчетной области

Метод решения. Для моделирования процесса использован программный комплекс ANSYS. На первом этапе создана геометрия объекта с помощью встроенного в программный комплекс редактора DesignModeler. Редактор Mesh позволяет дискретизировать расчетную область. Переход в редактор Setup позволяет поставить начальные и граничные условия задачи, выбрать метод решения. В General назначаем Type - Pressure-Based, Time – Transient, Velocity Formulation – Absolute, 2DSpace – Planar. Ниже ставим галочку напротив Gravity и присваиваем значение по оси ординат -9.8m/s^2 . В Models подключаем уравнение энергии, Viscous меняем на Standard k- ϵ , Species на Species Transport, здесь же выбираем Mixture Material – methane-air, Reactions – Volumetric и Turbulence - Chemistry Interaction – Eddy-Dissipation. Здесь же для задания градиента температуры используем UDF. Для этого создаем файл формата *.c, в котором задаем профиль температуры. Для использования его в проекте, вызываем меню Define ->Define Functions ->Interpret... , выбираем созданный файл. После чего в настройках Cell Zone Conditions ставим галочку напротив Fixed Values и меняем Temperature с none на udf_y_temperature. Задание значений на границах области осуществляется во вкладке Boundary Conditions. Задаются значения скоростей входящего в область воздушного потока в air_inlet, выброса метана из трубы в gas_inlet. Также задается массовая доля кислорода в air_inlet – 0.23, и массовая доля метана в gas_inlet – 1. В air_inlet меняется Temperature с none на udf_y_temperature.

В качестве метода решения выбран метод SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations), иначе – метод расщепления по физическим параметрам. Далее инициализируется расчет.

Анализ полученных результатов. Расчеты были проведены с учетом различных вариаций градиента температуры и скорости выброса вредных примесей из устья источника. Результаты были получены при скоростях выброса: 2.5 м/с, 4 м/с, 10 м/с. Входящий слева воздушный поток движется со скоростью 0.5 м/с. Данная скорость воздушного потока по шкале Бофорта соответствует определению силы ветра – тихий. То есть, в данном случае, направление ветра можно заметить по дыму, но не по флюгеру, листья деревьев остаются неподвижны. Представленные рисунки определяют состояние факела на тридцатой секунде. Шаг итераций по времени равен 0.1 с. Были проведены численные эксперименты.

Рисунок 2 демонстрирует распределение концентрации метана при скорости выброса 2.5 м/с. Рассмотрено четыре случая, каждому из которых соответствует заданный градиент температуры. 2 (a) характерен для случая, когда с высотой температура понижается; 2 (b) – для случая инверсии; 2 (c) – для случая, когда устье источника располагается выше верхней границы инверсии; 2 (d) – для случая, когда устье источника располагается ниже нижней границы инверсии.

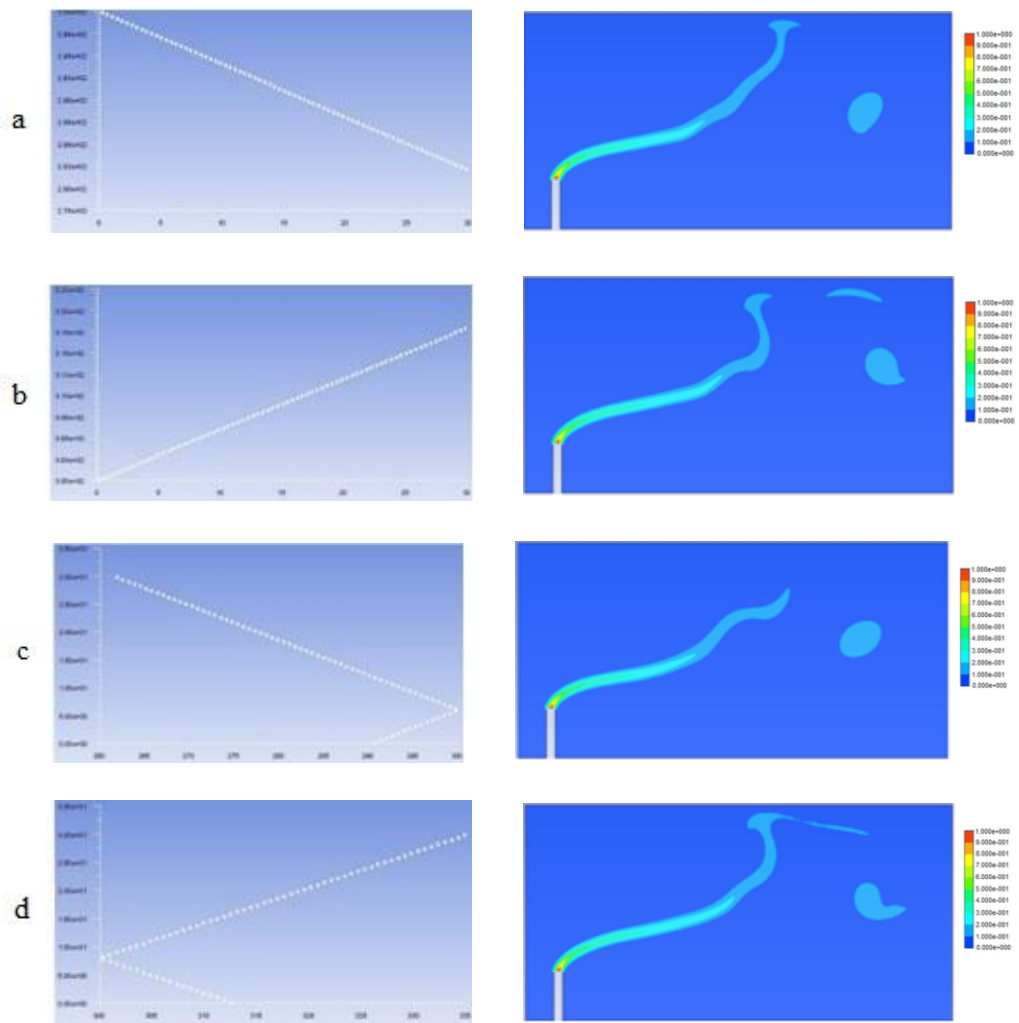
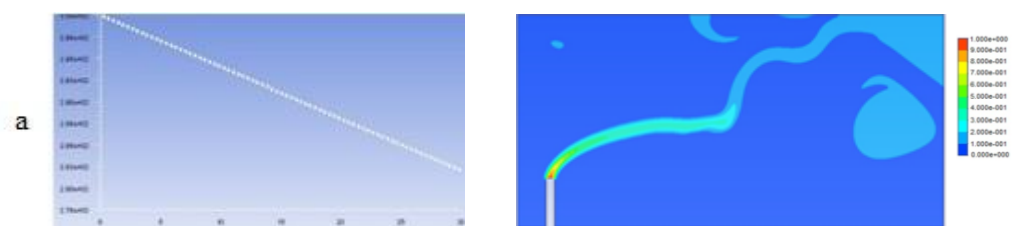


Рисунок 2. Распределение концентрации метана (CH_4) при различных начальных профилях температуры в случае, когда скорость выброса – 2.5м/с

Рисунок 3 демонстрирует распределение концентрации метана при скорости 4 м/с. Здесь также рассмотрены четыре варианта стратификации по температуре. 3 (а) характерен для случая, когда с высотой температура понижается; 3 (b) – для случая инверсии; 3 (с) – для случая, когда устье источника располагается выше верхней границы инверсии; 3 (d) – для случая, когда устье источника располагается ниже нижней границы инверсии.



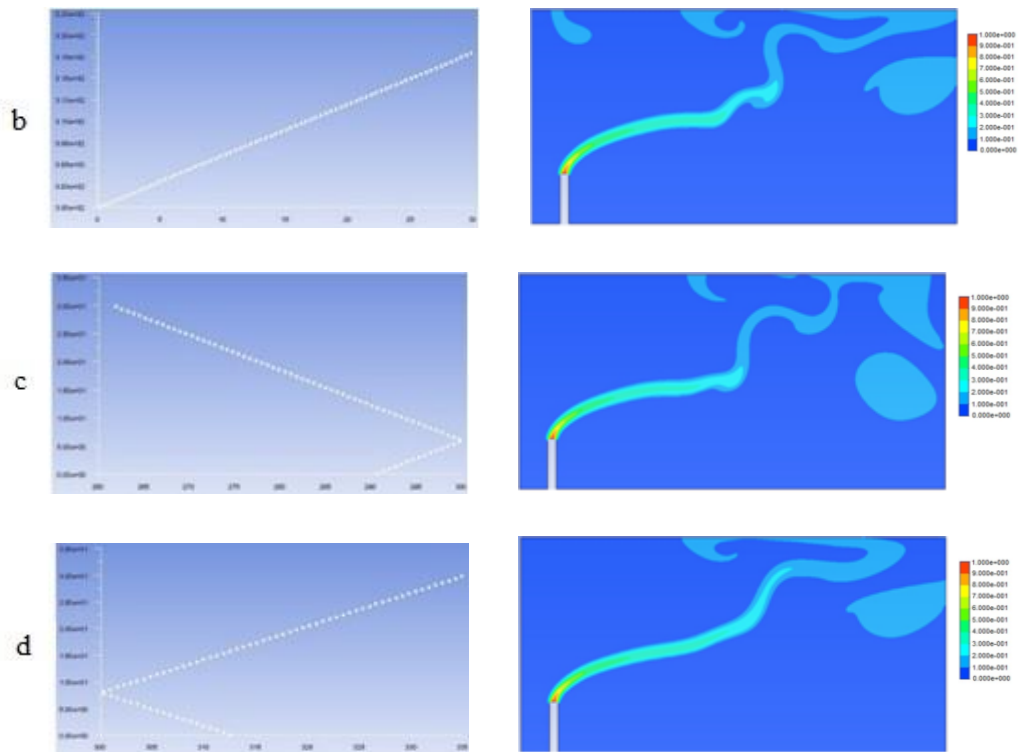
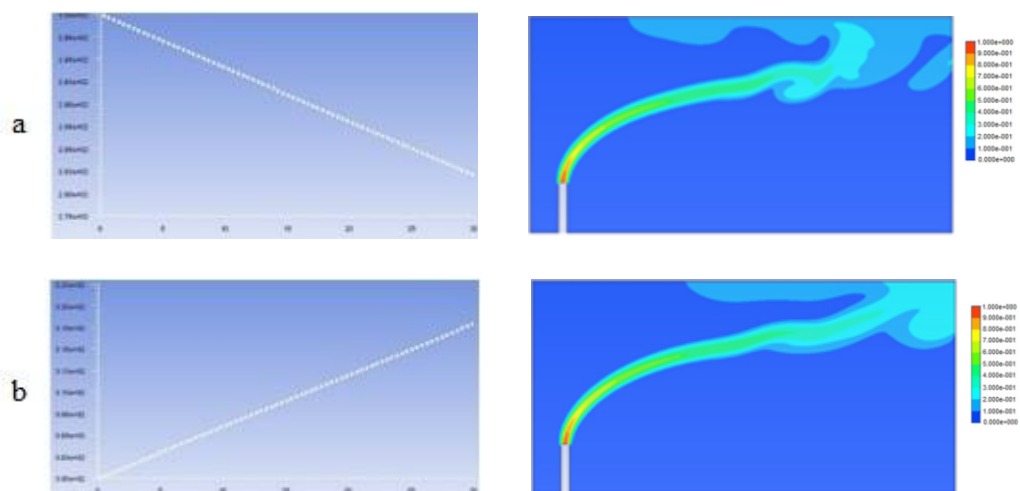


Рисунок 3. Распределение концентрации метана (CH_4) при различных начальных профилях температуры в случае, когда скорость выброса – 4 м/с

Рисунок 4 демонстрирует распределение концентрации метана при скорости 10 м/с. Рассмотрено четыре случая: 4 (а) характерен для случая, когда с высотой температура понижается; 4 (б) – для случая инверсии; 4 (с) – для случая, когда устье источника располагается выше верхней границы инверсии; 4 (д) – для случая, когда устье источника располагается ниже нижней границы инверсии.



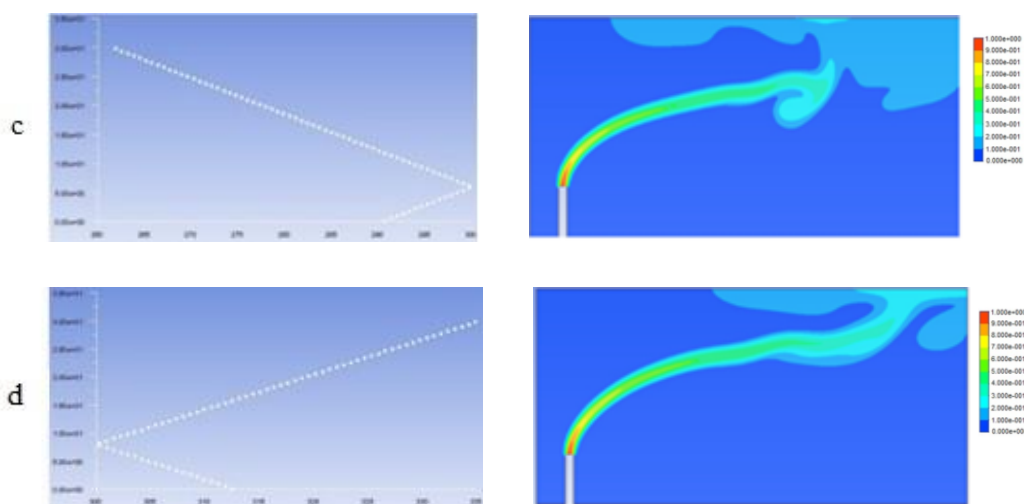


Рисунок 4. Распределение концентрации метана (CH_4) при различных начальных профилях температуры в случае, когда скорость выброса – 10 м/с

Таким образом, приведенные результаты позволяют отметить важность влияния ветра на распределение вредных веществ в атмосфере, выбрасываемых точечным источником промышленного предприятия.

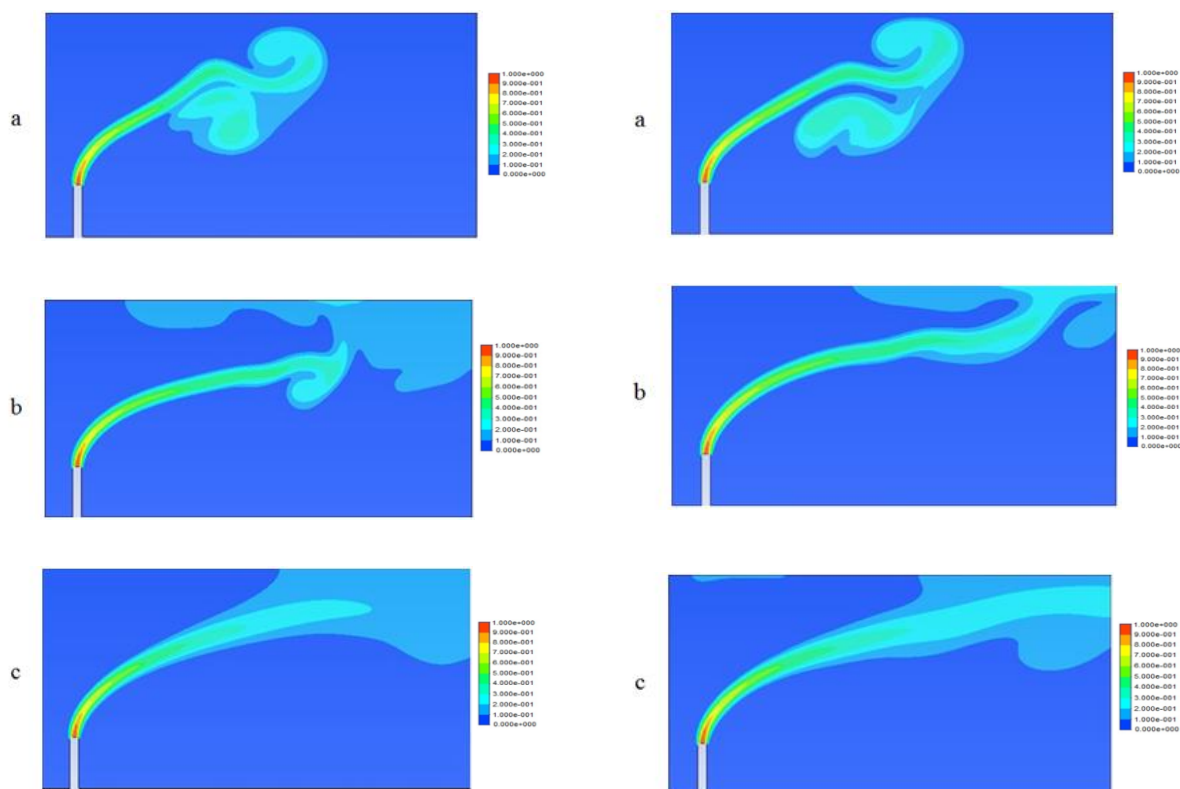


Рисунок 5. Временное распределение концентрации метана (CH_4) в случае, когда верхняя граница инверсии расположена ниже устья источника

Рисунок 6. Временное распределение концентрации метана (CH_4) в случае, когда нижняя граница инверсии расположена выше устья источника

Рисунок 5 соответствует распределению концентрации метана при $t=10$ сек (5(a)), $t=30$ (5(b)), $t=60$ (5(c)).

Как видно, на первом этапе значительные концентрации остаются вблизи устья источника, заметно происходит рассеивание. На втором этапе значительные концентрации переносятся на более отдаленное расстояние от источника с последующим рассеиванием. На третьем этапе видна наиболее выраженная форма факела. Значительные концентрации переносятся на значительное расстояние от источника в направлении распространения ветра с последующим рассеиванием.

В отличие от случая, когда устье источника расположено ниже нижней границы инверсионного слоя, который показан на рисунке 6, значительные концентрации переносятся на меньшее расстояние от источника.

Видно, как с течением времени факел приобретает более ярко выраженную форму конуса.

В сравнении с рисунком 6, можно отметить, что рассеивание вредных веществ больше, что обуславливается тем, что факел попадает в слой атмосферы, где градиент температуры положителен.

Также можно отметить, что в случае, когда инверсионный слой ниже устья источника, значительные концентрации вредных веществ наблюдаются на большей высоте по сравнению с тем случаем, когда инверсионный слой располагается выше уровня устья источника.

Рисунок 6 демонстрирует распределение концентрации метана, выбрасываемого точечным источником со скоростью 10 м/с, с течением времени 6(a)- 10 сек, с учетом того, что устье источника располагается ниже нижней границы инверсионного слоя. В отличие от случая, когда устье источника расположено выше верхней границы инверсионного слоя, который показан на рисунке 5, значительные концентрации переносятся на большее расстояние от источника. Можно также отметить, что рассеивание вредных веществ меньше, что обуславливается тем, что факел попадает в инверсионный слой, препятствующий рассеиванию. В случае, когда инверсионный слой ниже устья источника, значительные концентрации вредных веществ наблюдаются на меньшей высоте по сравнению с тем случаем, когда инверсионный слой располагается выше уровня устья источника.

В связи с чем можно утверждать, что случай, когда инверсионный слой расположен ниже уровня устья источника, более безопасен для экологии приземного слоя атмосферы.

Выводы. Численные эксперименты были проведены при различных скоростях выброса вредных веществ точечным источником, при различной стратификации температуры с высотой, что позволяет прогнозировать форму факела и его протяженность.

Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования распределения концентрации в приземном слое атмосферы, качество состава воздуха которого оказывает существенное влияние на состояние экологии окружающей среды. Анализ полученных результатов

позволяет отметить необходимость создания подобных моделей для прогнозирования распределения концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы, что окажет влияние на состояние экологии окружающей среды в целом и атмосферы в частности.

Литература

1. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы: Учебник. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 777 с.
2. Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В., Федорова Н.Н. Основы работы в ПК ANSYS, 16.0: Учебное пособие. – Новосибирск: НГАСУ, 2015. – 240 с.
3. Тюменев Т. Р., Поникаров С. И., Гасилов В.С. Исследования влияния скорости ветра и застройки на распространение облаков легких газов численным моделированием // Безопасность жизнедеятельности. – Нижнекамск, 2006. – №11. – С. 4–7.
4. Евсина Е.С., Алыков Н.М., «Обзор различных вариантов математического моделирования аэродинамики воздушных потоков», Естественные науки, 2012, с.124-130.
5. Тюменев Т.Р., Поникаров С.И., Гасилов В.С., «Прогнозирование распространения облаков легких и нейтральных ОХВ в условиях устойчивой атмосферы при помощи численного моделирования», Вестник Казанского Технологического Университета, 2006, с. 78-86.
6. Бабков В.С., Ткаченко Т.Ю., «Анализ математических моделей распространения примесей от точечных источников», Научные труды ДонНТУ. Серия: Информатика, кибернетика и вычислительная техника, 13(185)/2011, с. 147-155.