

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2023 году

по проекту **«Разработка микромасштабной математической модели и
вычислительных технологий для исследования и прогнозирования процессов
распространения выбросов автотранспорта в городских кварталах с
использованием суперкомпьютера»,**
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 23-21-00165

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Данилкин Евгений Александрович

В соответствии с календарным планом в текущем году в развиваемую микромасштабную вихреразрешающую модель турбулентного течения включена параметризация растительности, учет неоднородности подстилающей поверхности и учет силы плавучести. Разрабатываемая математическая модель опирается на многомерные нестационарные отфильтрованные уравнения Навье-Стокса для определения полей компонент скорости и давления и транспортные уравнения для расчета полей скалярных величин – температуры и концентрации примеси. В качестве турбулентного замыкания на сегодня реализованы две подсеточные модели: модель Смагоринского с параметром (Smagorinsky, 1963) и динамическая модель (Germano et al., 1991). Влияние силы плавучести на движение воздуха моделируется с помощью приближения Обербека-Буссинеска. Для учета влияния растительности в уравнения движения включена сила сопротивления. Учет неоднородности подстилающей поверхности реализован посредством задания шероховатости поверхностей, образующих область исследования (стены, крыши, дороги, газоны и т.д.)

Решение построенной модели осуществляется на основе метода конечного объема с использованием разнесенной структурированной разностной сетки и схем не менее чем второго порядка точности по времени и пространству. Для моделирования течений вокруг зданий использован метод фиктивных областей. В гидродинамической части вихреразрешающей модели для согласования полей скорости и давления используется схема предиктор-корректор, в соответствии с которой явная схема Адамса-Бэшфорда для уравнения движения выполняет функцию предиктора, а коррекция поля скорости выполняется на основе решения разностного эллиптического уравнения для давления. Для решения систем линейных алгебраических уравнений, возникающих при дискретизации исходной дифференциальной задачи в части согласования полей скорости и давления, используется метод сопряженных градиентов (CG) с предобуславливанием методом верхней релаксации. Алгоритм решения развиваемой математической модели распараллелен с использованием технологии параллельного программирования MPI. Распараллеливание выполнено с использованием геометрической декомпозиции сеточной области.

Выполнено тестирование построенной математической модели и численного метода ее решения. Проведены сравнения с экспериментальными данными и результатами расчетов по RANS моделям. На основании выполненных вычислительных экспериментов и результатов сравнительного анализа можно говорить об адекватности предложенной модели исследуемым физическим процессам.

Построенная математическая модель применена для исследования аэродинамики потока и переноса примеси, поступающей от линейного источника, в уличном каньоне с растительностью. Собраны и проанализированы экстремальные и средние концентрации примеси в каньоне и зоне дыхания. Показано, что добавление в уличный каньон деревьев высотой приводит к значительному увеличению максимальных и средних концентраций примеси. Полученные результаты показывают, что использование городской растительности приводит к ухудшению циркуляции воздуха в уличном каньоне, что согласуется с результатами натурных экспериментов.

Таким образом, разработана, программно реализована и верифицирована микромасштабная вихреразрешающая модель турбулентного течения, учитывающая влияние зданий различной этажности и конфигурации, участков растительности, неоднородности подстилающей поверхности и естественной конвекции.