

УДК 502.7:502.55

А. И. Кушцов

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ. CFD-ТЕХНОЛОГИИ. UDF-ФУНКЦИИ

Ключевые слова: мониторинг, численное моделирование, пограничный слой атмосферы, UDF.

Научные исследования в области экологического мониторинга направлены на снижение негативных последствий. В данной статье рассмотрено использование UDF-функций при решении физико-математических моделей, которые необходимы для осуществления экологического мониторинга. UDF-функции приведены на языке программирования C.

Key words: monitoring, numerical modeling, boundary layer of the atmosphere, UDF.

Scientific research in the field of environmental monitoring aimed at reducing the negative effects. This article discusses the use of UDF-functions for solving physical and mathematical models, which are necessary for the implementation of environmental monitoring. UDF-function shown in the programming language C.

Впервые понятие мониторинга окружающей среды было введено профессором Р. Манном в Стокгольме на конференции ООН в 1972 г. Мониторингом было предложено называть систему повторяющихся наблюдений элементов среды в пространстве и во времени с определенными целями. Однако затем стало ясно, что понятие «мониторинг» выходит за рамки содержания данного определения и не позволяет раскрыть его задачи.

Основными задачами экологического мониторинга на сегодняшний день являются:

- а) наблюдение за источниками и причинами антропогенного воздействия, за состоянием окружающей среды и происходящими в ней процессами;
- б) оценка фактического состояния природной среды;
- в) прогноз изменения состояния природной среды под влиянием факторов и ее оценка.

Научные исследования в области экологического мониторинга направлены на снижение негативных последствий хозяйственной деятельности и (или) сориентированы на разработку продуктивных методов очистки выбросов и сбросов. Одними из таких исследований являются исследования по созданию систем экологического мониторинга пограничного слоя атмосферы. К системам мониторинга можно отнести: объект наблюдения; составление информационной модели для объекта; планирование измерений; прогнозирование изменения состояния объекта наблюдений; представление информации [1].

Для осуществления экологического мониторинга разработаны различные автоматизированные системы, которыми пользуются различные экологические службы и предприятия. В настоящее время в связи с развитием информационных технологий основой автоматизированных систем все чаще становятся CFD-технологии (технологии вычислительной гидродинамики). Эти технологии представляют собой компьютерное численное моделирование, включающие совокупность физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик потоковых процессов. Базой любого исследования в

области вычислительной гидродинамики является формулировка основных уравнений гидро/газодинамики потоков, а именно: уравнения неразрывности; уравнения сохранения импульса; уравнение сохранения энергии; уравнение состояния (для газов). Для моделирования пограничного слоя атмосферы предложены различные физико-математические модели [2-5].

Однако при решении физико-математических моделей на практике с помощью прикладных программных продуктов неизбежно возникает проблема использования UDF-функций (функции определенные пользователем). UDF-функции представляют из себя функции, которые программируются пользователем. Они могут быть динамически сопряжены с решателем программного продукта для улучшения стандартных характеристик программ. Чаще всего для их записей используют язык программирования C.

В таблицах 1-4 предлагаются готовые разработанные UDF-функции для моделирования пограничного слоя атмосферы. При этом предлагается использовать физико-математическую модель, подробно освещенную в статье [2]. Граничные условия этой модели предлагается находить путем использования методики объединения методов градиента и профиля [6].

Таблица 1 – UDF-функция для моделирования неустойчивой стратификации атмосферы

```
#include "udf.h"
#include "mem.h"
#include "flow.h"

DEFINE_PROFILE(inlet_velocity, thread, index)
{
    real x[ND_ND];
    real y;
    real ud=0.0497;
    real kk=0.41;
    real zz=0.002;
    real lmo=-108.1;
    face_t f;
    real fm;
    real fl;
```

```

real fe;
real AA;
real BB;
real CC;
real DD;

begin_f_loop(f, thread)
{
  F_CENTROID(x,f,thread);
  y = x[1];

  fl = 1-(16*y/lmo);
  fm = pow(fl, -0.25);

  AA = 8*pow(fm, 4);
  BB = pow((fm+1), 2);
  CC = pow(fm, 2)+1;
  DD = -(3.14/2)+2*atan(1/fm);

  F_PROFILE(f, thread, index) = (ud/kk) * ( log(y/zz)
+ log(AA / (BB *CC))+DD );
}
end_f_loop(f, thread)
}

DEFINE_PROFILE(temperature, thread, index)
{
  real x[ND_ND];
  real y;
  real tz=303.15;
  real mt=-0.1779;
  real kk=0.41;
  real zz=0.002;
  real lmo=-108.1;
  face_t f;
  real fm;
  real fl;

  begin_f_loop(f, thread)
  {
    F_CENTROID(x,f,thread);
    y = x[1];

    fl = 1-(16*y/lmo);
    fm = pow(fl, -1/4);

    F_PROFILE(f, thread, index) =
tz+((mt/kk)*(log(y/zz)-(log(1+(1/(fm*fm))))))-
(0.01*(y-zz))+(-0.009775*y);
  }
  end_f_loop(f, thread)
}

DEFINE_PROFILE(k_profile,t,i)
{
  real y, del, h, ufree, x[ND_ND];
  real ff, utau, knw, kinf;
  real ud=0.0497;
  real lmo=-108.1;
  face_t f;
  real fm;
  real fl;
  real fe;

```

```

begin_f_loop(f,t)
{
  F_CENTROID(x,f,t);
  y=x[1];

  fl = 1-(16*y/lmo);
  fm = pow(fl, -1/4);
  fe = 1-(y/lmo);

  F_PROFILE(f,t,i)=5.48*ud*ud*sqrt((fe)/(fm));
}
end_f_loop(f,t)
}

DEFINE_PROFILE(dissip_profile,t,i)
{
  real y, x[ND_ND], del, h, ufree;
  real ff, utau, knw, kinf;
  real mix, kay;
  real ud=0.0497;
  real lmo=-108.1;
  real kk=0.41;
  face_t f;
  real fm;
  real fl;
  real fe;

  begin_f_loop(f,t)
  {
    F_CENTROID(x,f,t);
    y=x[1];

    fl = 1-(16*y/lmo);
    fm = pow(fl, -1/4);
    fe = 1-(y/lmo);

    F_PROFILE(f,t,i)= ud*ud*ud*(fe)/(kk*y) ;
  }
  end_f_loop(f,t)
}

```

Таблица 2 – UDF-функция для моделирования нейтральной стратификации атмосферы

```

#include "udf.h"
#include "mem.h"
#include "flow.h"

DEFINE_PROFILE(inlet_velocity, thread, index)
{
  real x[ND_ND];
  real y;
  real ud=0.0481;
  real kk=0.41;
  real zz=0.002;
  face_t f;

  begin_f_loop(f, thread)
  {
    F_CENTROID(x,f,thread);
    y = x[1];
    F_PROFILE(f, thread, index) = ud*(log(y/zz))/kk;
  }
  end_f_loop(f, thread)
}

```

```

}

DEFINE_PROFILE(temperature, thread, index)
{
    real x[ND_ND];
    real y;
    real tz=303.15;

    face_t f;

    begin_f_loop(f, thread)
    {
        F_CENTROID(x,f,thread);
        y = x[1];

        F_PROFILE(f, thread, index) = tz+(-0.009775*y);
    }
    end_f_loop(f, thread)
}

DEFINE_PROFILE(k_profile,t,i)
{
    real y, del, h, ufree, x[ND_ND];
    real ff, utau, knw, kinf;
    real ud=0.0481;
    face_t f;

    begin_f_loop(f,t)
    {
        F_CENTROID(x,f,t);
        y=x[1];

        F_PROFILE(f,t,i)=5.48*ud*ud;
    }
    end_f_loop(f,t)
}

DEFINE_PROFILE(dissip_profile,t,i)
{
    real y, x[ND_ND], del, h, ufree;
    real ff, utau, knw, kinf;
    real mix, kay;
    real ud=0.0481;
    real kk=0.41;
    face_t f;

    begin_f_loop(f,t)
    {
        F_CENTROID(x,f,t);
        y=x[1];
        F_PROFILE(f,t,i)= ud*ud*ud/(kk*y) ;
    }
    end_f_loop(f,t)
}

```

Таблица 3 – UDF-функция для моделирования устойчивой стратификации атмосферы

```

#include "udf.h"
#include "mem.h"
#include "flow.h"

DEFINE_PROFILE(inlet_velocity, thread, index)
{
    real x[ND_ND];
    real y;
    real ud=0.0472;
    real kk=0.41;
    real zz=0.002;
    real lmo=309.5;
    face_t f;

```

```

begin_f_loop(f, thread)
{
    F_CENTROID(x,f,thread);
    y = x[1];
    F_PROFILE(f, thread, index) =
ud*(log(y/zz)+(5*y/lmo))/kk;
}
end_f_loop(f, thread)
}

DEFINE_PROFILE(temperature, thread, index)
{
    real x[ND_ND];
    real y;
    real tz=303.15;
    real mt=0.0507;
    real kk=0.41;
    real zz=0.002;
    real lmo=109.5;
    face_t f;

    begin_f_loop(f, thread)
    {
        F_CENTROID(x,f,thread);
        y = x[1];

        F_PROFILE(f, thread, index) =
tz+((mt/kk)*(log(y/zz)+(5*y/lmo)));
    }
    end_f_loop(f, thread)
}

DEFINE_PROFILE(k_profile,t,i)
{
    real y, del, h, ufree, x[ND_ND];
    real ud=0.0472;
    real lmo=309.5;
    face_t f;

    begin_f_loop(f,t)
    {
        F_CENTROID(x,f,t);
        y=x[1];

        F_PROFILE(f,t,i)=5.48*ud*ud*sqrt((lmo+(4*y))/(lmo+(5*y)))
;
    }
    end_f_loop(f,t)
}

DEFINE_PROFILE(dissip_profile,t,i)
{
    real y, x[ND_ND], del, h, ufree;
    real ud=0.0472;
    real lmo=309.5;
    real kk=0.41;
    face_t f;

    begin_f_loop(f,t)
    {
        F_CENTROID(x,f,t);
        y=x[1];

        F_PROFILE(f,t,i)= ud*ud*ud*(1+((4*y)/lmo))/(kk*y) ;
    }
    end_f_loop(f,t)
}

```

Таблица 4 – UDF-функция для источникового члена в уравнении для переноса кинетической энергии турбулентности

```
#include "udf.h"
#include "mem.h"
#include "flow.h"

DEFINE_SOURCE(xmom_source_K, c, t, dS, eqn)
{
    real y, x[ND_ND];
    real source;
    real mut = C_MU_T(c,t);

    C_CENTROID(x, c, t);
    y = x[1];

    source = -0.00367*(-9.81)*(-9.81)*mut/(0.85*1005);
    dS[eqn]=0;
    return source;
}
```

Использование представленных выше адаптированных UDF-функций для моделирования пограничного слоя атмосферы позволяет осуществлять экологический мониторинг с помощью CFD-технологий.

Литература

1. Горюноква А. А. Современное состояние и подходы к разработке систем мониторинга загрязнения атмосферы / А.А. Горюноква // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. - №11. – С. 251-260.
2. Купцов А.И., Акберов Р.Р., Исламхузин Д.Я., Гимранов Ф.М. Проблемы расчета рассеивания легких газов в атмосфере при их выбросах со свечи с учетом рельефа и застройки местности и атмосферной устойчивости // Вестник Казанского технологического университета – 2014, Т.17, № 6. – С. 284-286.
3. Купцов А.И., Акберов Р.Р., Исламхузин Д.Я., Гимранов Ф.М. Численное моделирование пограничного слоя атмосферы с учетом ее стратификации // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (Ч.7). – с. 1452-1460.
4. Галеев А.Д., Поникаров С.И., Салин А.А. Моделирование последствий аварийного пролива бинарного раствора с использованием программы Fluent // Математическое моделирование – 2011. № 7. – С. 129-144.
5. Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах». Утверждено приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 N 160.
6. Купцов А.И., Зубков А.Г., Гимранов Ф.М. — «Использование методики объединения методов градиента и профиля для моделирования распространения облаков опасных газов в атмосфере». — Научная сессия. КНИТУ. 2-6 февраля 2015. — с. 81.

© А. И. Купцов – аспирант каф. промышленной безопасности КНИТУ, artpb@yandex.ru.

© А. I. Kuptsov – postgraduate department of industrial safety KNRTU, artpb@yandex.ru.