

УДК 004.9:504:519.6

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ЯДЕРНОГО АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ JRODOS

С.Н. Дидковская, Е.А. Евдин, А.В. Халченков, И.В. Ковалец

Институт проблем математических машин и систем НАН Украины

e-mail: sveta@ucewp.kiev.ua

Введение

В системах поддержки принятия решений на аварийные ситуации, возникающие на атомных станциях, решающее значение приобретает оценка текущего (анализ) и будущего (прогноз) состояния атмосферы. Примерами таких систем являются Европейская система ядерного аварийного реагирования JRODOS [1], системы ядерного реагирования КАДО [2], ARGOS [3] и многие другие. Лишь для сравнительно узкого класса задач локального атмосферного переноса (на расстояния <10 км [4]) могут использоваться постоянные в пространстве и времени значения метеорологических параметров, взятые из измерений. Решение более сложных задач расчета атмосферной дисперсии загрязнителя требует прогностической информации о пространственно-временном распределении скорости, направления ветра, осадков, высоты пограничного слоя и других характеристик атмосферы. Расчет такой прогностической информации производится с помощью моделей численного прогноза погоды (ЧПП), функционирующих, как правило, в национальных гидрометслужбах. В последние годы, в связи с ростом вычислительных мощностей и увеличением требований к степени детализации метеорологических полей ЧПП (до 1 км и меньше), кроме использования данных ЧПП национальных гидрометслужб, в современных СППР появилась тенденция использования «собственных» моделей ЧПП, то есть таких, которые функционируют в рамках того же кризисного центра, что и СППР.

Поэтому в рамках проекта NERIS-TP 7-й Рамочной программы Европейской комиссии (<http://www.eu-neris.net/>), посвященного усовершенствованию существующей в Европе технологической платформы для поддержки ядерного аварийного реагирования, была поставлена задача разработки программных средств, позволяющих рассчитывать детальные прогностические метеорологические поля на основе свободно распространяемых данных глобального прогноза погоды [5] и мезомасштабной метеорологической модели WRF [6] для их последующего использования системой JRODOS при необходимости расчета краткосрочного прогноза распространения радиоактивности в любой точке Земного шара.

Схема работы автоматизированной системы прогноза метеорологических условий

Рассмотрим схему работы системы, представленную на рис. 1. Система JRODOS, на основе введенных пользователем входных данных, формирует xml-файл расчета, который содержит дату начала инцидента (т.е. дата начала выброса загрязнителя), продолжительность необходимого прогноза, координаты центра области расчета, радиус области расчета, название модели, которая будет рассчитывать распространение загрязнений, а также индикатор запуска WRF модели. Этот xml-файл передается на вход программе WRF-Launcher, которая проверяет, имеются ли в наличии файлы для нужного периода, если нет, то формирует задание для программы NomadsDownloader, которая загружает необходимый набор данных с серверов NOMADS (National Operational Model Archive & Distribution System), принадлежащих NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). После того как все данные загружены, WRF-Launcher проверяет необходимость запуска WRF модели (входной параметр), если нет, то загруженные данные с помощью программы Up-loader помещаются в базу данных JRODOS. Если во

входном xml-файле указано, что нужно запускать модель WRF, тогда WRF-Launcher вносит изменения в конфигурационные нэймлисты модели WRF и запускает ее. После того как WRF закончит свою работу, её результаты с помощью программы Up-loader загружаются в базу данных JRODOS (предварительно конвертируются, если это необходимо). Следует отметить, что программа Up-loader был разработана ранее при адаптации JRODOS для прогнозирования последствий аварии на АЭС Фукусима [7].

Для обеспечения возможности ассимиляции имеющихся в базе данных JRODOS метеорологических измерений, планируется реализовать экспорт имеющихся измерений из базы данных в файлы в формате LITTLE_R, который может использоваться модулем WRF-VAR модели WRF для ассимиляции данных.

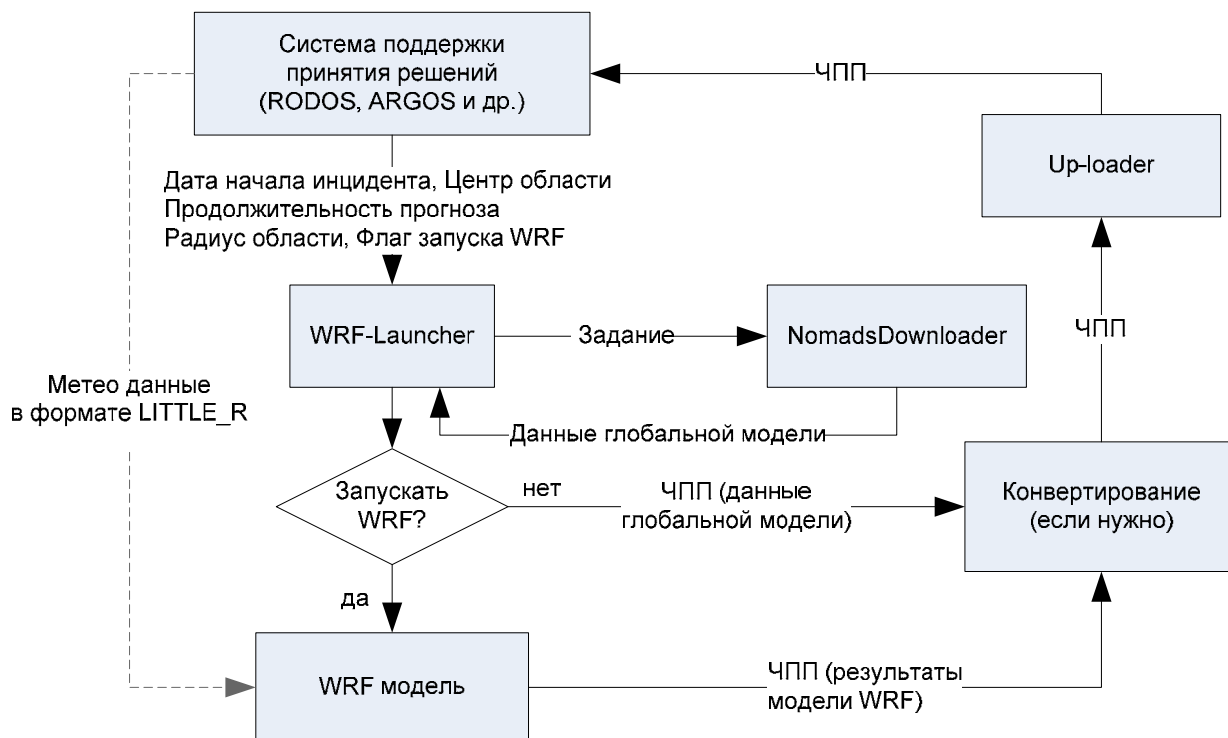


Рис. 1. Схема работы автоматизированной системы прогноза метеорологических условий

WRF-Launcher

Рассмотрим работу программы WRF-Launcher подробнее. Все переменные, которые встречаются в описании, являются параметрами конфигурационного файла WRF-Launcher. На рис. 2 представлена схема работы программы. В начале работы WRF-Launcher выбирает настройки для нэймлистов из конфигурационного файла в зависимости от переданного ему радиуса области. Далее идет проверка, отстоит ли дата начала инцидента (обозначенная как переменная *release* на рис. 2) от текущего времени (переменная *now* на рис. 2) более чем на *RacOffset* часов.

В случае **положительного** ответа, с серверов NOMADS загружаются доступные данные финального метеорологического анализа, т.е. трехмерные поля метеорологических элементов, построенных с учетом измерений. После того как эти данные получены, на их основе запускается модель WRF. Если данных финального метеоанализа достаточно чтобы покрыть временной интервал, для которого необходимо провести расчет атмосферного распространения загрязнения (это будет происходить в случае ретроспективных расчетов распространения атмосферного загрязнения), то работа WRF-Launcher на этом заканчивается. Если же для какого-то момента времени (предположительно, близкого к текущему моменту времени) отсутствуют файлы

финального метеоанализа, то для непокрытого периода времени будут использоваться файлы метеопрогноза. WRF-Launcher формирует список подходящих начальных времён метеопрогноза. Каждому такому времени соответствует определенный набор данных метеопрогноза, отстоящих от начального времени на 3, 6, 9..., 168 ч вперед, хранящихся на серверах NOMADS. При этом в этот список попадут только те начальные времена, которые отстоят от времени инцидента не более чем на *atOffset* часов. Из этого списка выбирается ближайшая к моменту инцидента дата, для которой необходимо дополнительно загрузить наименьшее число файлов или же просто ближайшая ко времени инцидента дата начала прогноза (конкретный выбор регулируется параметром *load time priority*). После того, как данные метеопрогнозов загружены, на их основе запускается модель WRF с теми же настройками вычислительной области, которые использовались при запуске на основе данных финального метеоанализа.

В случае **отрицательного** ответа на вопрос, отстоит ли дата начала инцидента от текущего времени более чем на *RacOffset* часов, сразу формируется список подходящих начальных времён метеопрогнозов и загружается набор данных по аналогичным правилам. Затем, на основе этих данных, запускается расчет модели WRF.

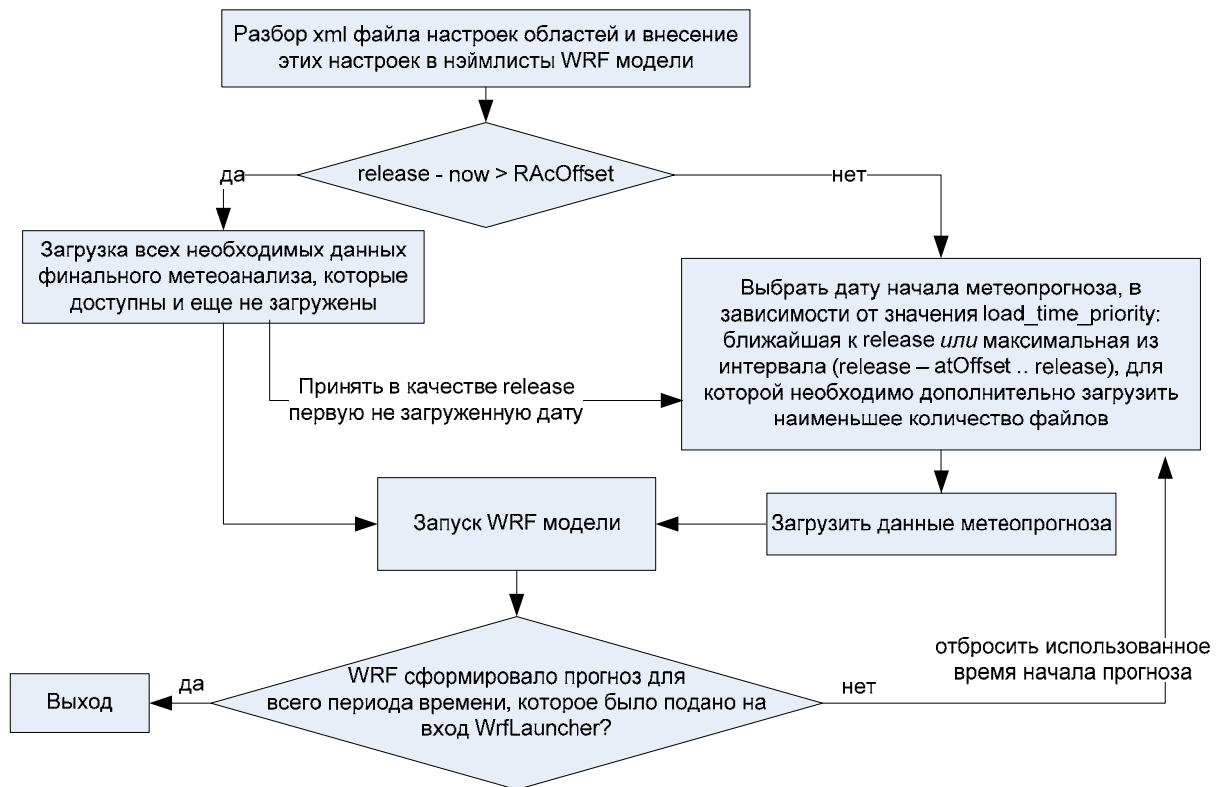


Рис. 2. Схема работы программы WRF-Launcher

Настройки WRF

Основным требованием к автоматизированному расчету ЧПП наряду с точностью является быстродействие. Пользователю системы JRODOS предоставляется на выбор 7 вариантов вычислительных областей разных размеров (от 16x16 до 640x640 км), для которых должен производиться прогноз распространения загрязнения менее чем за час. В табл. 1 представлены параметры вычислительных областей WRF в зависимости от размера вычислительной области JRODOS. В модели WRF создаются вложенные области с постепенным уменьшением горизонтального пространственного разрешения. Это позволяет избежать артефактов, вызванных интерполяцией при переходе с более грубой

сетки на более мелкую сетку. В предложенных настройках WRF используется коэффициент сгущения, равный 3. Все области “квадратные”, то есть количество узлов и горизонтальное пространственное разрешение в направлениях осей X и Y одинаково. В табл. 1 приведены количество вложенных областей для каждой из конфигураций, количество узлов по горизонтали каждой из областей, горизонтальное разрешение и шаг интегрирования по времени в первой вложенной области. Шаг интегрирования в остальных областях определяется автоматически делением шага интегрирования в родительской области на коэффициент сгущения. В последней колонке табл. 1 приведено быстродействие WRF для данной конфигурации в параллельном режиме расчета на 8-ми ядерном узле, 2.5GHz, 16 Гб оперативной памяти.

Точность расчета WRF зависит не только от разрешения сетки, но и от физических параметризаций. Было проведено тестирование нескольких конфигураций физических параметризаций на примере расчета последовательности 24 ч прогнозов в области размером 80x80 км вокруг ровенского аэропорта. В результате проведенных исследований для задания по умолчанию был выбран следующий набор параметризаций микрофизики облаков, процессов в деятельном слое почвы и атмосферного пограничного слоя: `mp_physics=3`, `sf_surface_physics=2`, `bl_pbl_physics=2` (для приведенных опций смотрите ссылки в [6]).

Таблица 1. Параметры вычислительных областей WRF

Радиус области JRODOS, км	Число вложенных областей	Размеры сетки вложенных областей (Nx=Ny)	Размеры ячеек вложенных областей (dx=dy), м	Временной шаг в области №1, с	Время расчета прогноза, мин.
8	4	49,13,13,13	40500,13500,4500,1500,	240	30
16	3	73,19,19	27000,9000,3000,	135	32
40	3	73,25,31	27000,9000,3000,	135	46
80	3	45,25,49	45000,15000,5000	270	30
100	3	45,25,49	45000,15000,5000	270	30
160	2	73,49	27000,9000,	135	28
320	2	67,73	30000,10000,	180	36

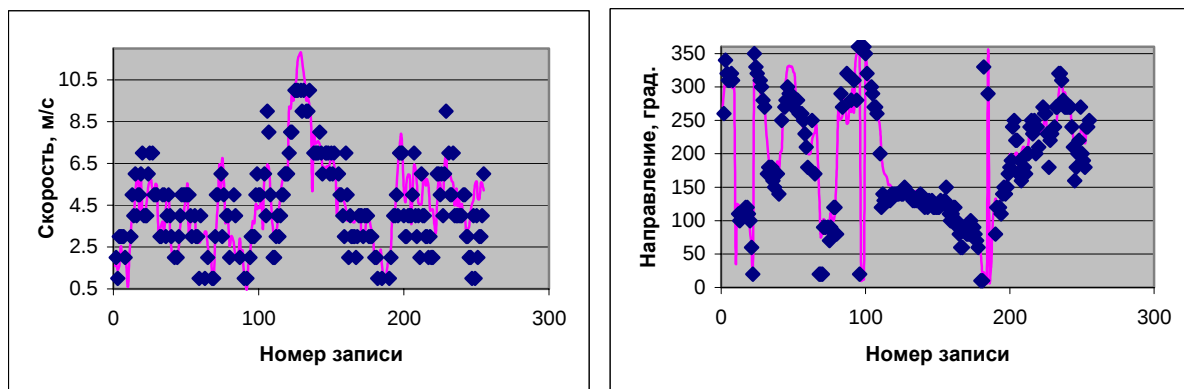


Рис. 3. Сравнение результатов прогноза скорости и направления ветра на высоте 10 м с заблаговременностью 24 ч и измерений метеостанции Ровенского аэропорта за декабрь 2012 г. Данные измерений показаны точками, а данные расчета – линией

Результаты сравнения расчетов с данным набором параметризаций с измерениями метеостанции ровенского аэропорта приведены на рис. 3. Они свидетельствуют об очень хорошем качестве метеорологического прогноза. Это подтверждается и статистической обработкой результатов: среднеквадратическая ошибка скорости ветра равнялась 1.4 м/с, а среднеквадратическая ошибка направления ветра: 26 град., что согласуется с лучшими

показателями ошибки других моделей ЧПП, используемых для прогнозирования распространения атмосферных загрязнений [8].

Выводы

В работе представлена автоматизированная система прогноза метеорологических условий для использования в Европейской системе поддержки принятия решений при авариях на атомных станциях JRODOS. Система позволяет в автоматическом режиме производить менее чем за час прогноз метеорологических условий на детальной сетке для любой из 7 вычислительных областей JRODOS, размером от 16x16 до 320x320 км. Точность прогнозов соответствует современным стандартам для такого рода систем. В будущих версиях JRODOS будет создан интерфейс, позволяющий пользователю посылать запрос на выполнение метеорологического прогноза на сервер метеопрогноза, что позволит пользователям JRODOS по желанию выполнять прогноз распространения радионуклидов вследствие выброса в любой точке Земного шара. Разработанная автоматизированная система метеопрогноза должна служить дополнением к функционирующим в национальных гидрометслужбах системам, позволяющим повысить гибкость и быстроту реагирования на атомные аварии.

Список литературы

1. RODOS re-engineering: aims and implementation details / Y. Ievdin, D. Trybushny, M. Zheleznyak [et al.] // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, N 5. – P. 181–190.
2. Бончук Ю.В. Программный комплекс анализа дозиметрической обстановки при аварийных выбросах АЭС Украины / Ю.В. Бончук, Н.Н. Талерко, А.Г. Кузьменко // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2009. – № 12. – С. 30–38.
3. ARGOS CBRN information system for emergency management. Version 08 [Електронний ресурс] / S. Hoe, L. Schou-Jensen, J. Pehrsson [et al.]. – Denmark, Brondby: Prolog Developer Center, 2010. – 33 p. – Режим доступа: www.pdc.dk/argos/.
4. Талерко Н.Н. Физические особенности и ограничения моделей атмосферного переноса радионуклидов для разных пространственно-временных масштабов / Н.Н. Талерко // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2009. – № 11. – С. 57–62.
5. Rutledge G. NOMADS – a climate and weather model archive at the National Oceanic and Atmospheric Administration / G. Rutledge, J. Alpert, W. Ebusizaki // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2006. – Vol. 87. – P. 327–341.
6. A description of the advanced research WRF version 3. [Електронний ресурс] / W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia [et al.] // NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR. – USA, Boulder: National Center for Atmospheric Research, 2008. – 125 p. – Режим доступа: <http://wrf-model.org/>
7. Евдин Е.А. Многоплатформенная версия системы поддержки принятия решений РОДОС и ее адаптация для оценки последствий воздушных выбросов на АЭС Фукусима / Е.А. Евдин, М.И. Железняк, И.В. Ковалец [и др.] // Збірник наукових праць СКУАЕТАП. – 2012. – № 4. – С. 92-101.
8. Astrup P. Comparison of NWP prognosis and local monitoring data from NPPs / Radioprotection / Paul Astrup and Torben Mikkelsen // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45. – P. S97-S111.