Таблица 1. Зависимость концентрации примеси от времени

без усл.	отражение	поглощение	без усл.	отражение	поглощение	без усл.	без услов.	отражение	поглощение
1 сек.	1 сек.	1 сек.	6 сек.	6 сек.	6 сек.	12 сек.	46 сек.	46 сек.	46 сек.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,31	1,31	1,31	1,79	1,79	1,79	0,62	3,62E-05	3,39E-05	1,29E-05
2,63	2,63	2,63	3,59	3,59	3,59	1,24	7,24E-05	6,77E-05	2,16E-05
3,93	3,93	3,93	5,39	5,39	5,39	1,86	0,0001	0,0001	3,89E-05
5,25	5,25	5,25	7,19	7,19	7,19	2,48	0,00014	0,00013	5,19E-05
6,56	6,56	6,56	8,99	8,99	8,99	3,09	0,00018	0,00016	6,49E-05
7,88	7,88	7,88	10,78	10,78	10,78	3,72	0,00021	0,00017	7,79E-05
9,19	9,19	9,19	12,58	12,58	12,58	4,34	0,00025	0,00024	9,09E-05
10,5	10,5	10,5	14,38	14,38	14,38	4,96	0,0003	0,00027	0,0001
11,81	11,81	11,81	16,18	16,18	16,18	5,57	0,00032	0,0003	0,00012
13,13	13,13	13,13	17,97	17,97	17,97	6,19	0,00036	0,00034	0,00013
14,44	14,44	14,44	19,77	19,77	19,77	6,81	0,0004	0,00037	0,00014

Проанализируем приведенные в таблице 1 расчеты.

Пусть граничные условия не учитываются (рассматривается задача Коши (1) - (2)).

В течение времени 1с.–12с., с момента действия источника, наблюдается возрастание концентрации с 1,31 кг/м^3 до 1,79 кг/м^3 (см. строку № 2 таблицы 1); в течение 12с. – 46с. - уменьшение с 0,62 кг/м^3 – 3,62Е-05 кг/м^3 .

Аналогичные результаты изменения концентрации до 46с. имеем также в случае, когда граничные условия (3), (4) в задаче (1) – (4) учитываются.

После 46с., с момента действия источника, наблюдается значительное расхождение значений концентрации q для задач (1) - (2) и (1) – (4). Без учета граничных условий: с 3,62Е- 05 кг/м^3 до 0 кг/м^3 ,с учетом этих же условий: а) поглощение с 1,29Е- 05 кг/м^3 до 0 кг/м^3, б) отражение с 3,39Е- 05 кг/м^3 до 0 кг/м^3.

Программная реализация вышеописанного численного решения полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии позволяет сделать вывод, что значения концентраций рассеяния примеси, полученные в результате расчетов в момент выброса ее в атмосферу, при задании граничных условий и без учета их имеют существенные различия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.

2. Марчук Г. И. Методы расщепления. – М.: Наука, 1988. – 264 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ МАСШТАБА И КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АТМОСФЕРЕ

Семенчин Е.А., Кунижев С.М.

Ставропольский государственный университет, Ставрополь

Математическая модель приземного слоя атмосферы представляет собой замкнутую систему уравнений, записанных в безразмерном виде:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial U}{\partial t} = V + \dfrac{\partial}{\partial z} K \dfrac{\partial U}{\partial z} \\ \dfrac{\partial V}{\partial t} = -(U-1) + \dfrac{\partial}{\partial z} K \dfrac{\partial V}{\partial z} \\ \dfrac{\partial q}{\partial t} = a_H \dfrac{\partial}{\partial z} K \dfrac{\partial q}{\partial z} \\ b = \dfrac{a_D c^{\frac{1}{4}}}{2r^2} \dfrac{dl}{dt} \\ l = cR_0^{-1}(b(t,z) - b(t,R_0^{-1})) + c \displaystyle\int_{R_0^{-1}}^{z} \left(\dfrac{1}{b(t,z)} - \dfrac{1}{b(t,t)} \right) dt \\ K = lb \\ e = \dfrac{b^3}{l} \end{cases} \qquad (1)$$

с заданными краевыми условиями

$$\begin{array}{ll} U_{z=z_0} = 0; & U_{z\to\infty} \to G; \\ U_{z=z_0} = 0; & U_{z\to\infty} \to 0; \\ q_{z=z_0} = q_{00} + q_m \sin wt; & q_{z\to\infty} \to q_{00}; \\ \left.\dfrac{\partial b^2}{\partial z}\right|_{z=z_0} = 0; & \left. b^2 \right|_{z\to\infty} \to 0; \\ \left. l \right|_{z=z_0} = 0, & \end{array} \qquad (2)$$

где U,V – проекции скорости единичной массы воздуха на горизонтальной оси координат Ох,Оу,

q - потенциальная температура,

b^2-величина, пропорциональная средней кинетической энергии турбулентности,

l - масштаб турбулентности,

K - коэффициент турбулентного обмена,

e - средняя скорость диссипации,

R_0 – число Россби,

$a_D = \dfrac{K_D}{K_M}$ - отношение коэффициента турбулентного обмена для примеси и коэффициента турбулентного обмена для импульса,

$a_H = \dfrac{K_H}{K_M}$ - отношение коэффициента турбулентного обмена для теплоты и коэффициента турбулентного обмена для импульса,

χ - постоянная Кармана,

с – безразмерная константа,

r – безразмерный коэффициент пропорциональности, зависящий от вида диффундирующей примеси.

Как видно из системы (1), для определения первых двух неизвестных необходимо знать значение коэффициента турбулентного обмена *K*, который можно найти из уравнения 6.

Значения средней кинетической энергии и масштаба турбулентности найдем, решая совместно уравнения 4 и 5 системы (1), преобразовав пятое уравнение этой системы:

$$b_i^t = \frac{a_D c^{\frac{1}{4}}}{2r^2}\frac{l_i^{t+1} - l_i^t}{t} \qquad (3)$$

Учитывая, что *l= l(z,t),*

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\partial l}{\partial t},$$

после дифференцирования первого уравнения системы (3) по z, получим:

$$\frac{\partial b}{\partial z} = \frac{a_D c^{\frac{1}{4}}}{2r^2}\frac{\partial^2 l}{\partial z \partial t}, \qquad (4)$$

подставим значения b и $\dfrac{\partial b}{\partial z}$ во второе уравнение системы (3), и преобразуем его к следующему виду:

$$\frac{\partial l}{\partial t}\left(\frac{\partial l}{\partial z} - c\right) = \frac{\partial^2 l}{\partial z \partial t} l. \qquad (5)$$

Представим производные в виде конечных разностей:

$$\frac{l_i^{t+1} - l_i^t}{t}\left(\frac{l_{i+1}^t - l_i^t}{h} - c\right) = \frac{l_{i+1}^{t+1} - l_i^{t+1} - l_{i+1}^t + l_i^t}{th} l_i^t, \qquad (6)$$

откуда

$$\frac{l_i^{t+1} - l_i^t}{t}\left(\frac{l_{i+1}^t - l_i^t}{h} - c\right) = \frac{l_{i+1}^{t+1} - l_i^{t+1} - l_{i+1}^t + l_i^t}{th} l_i^t, \qquad (7)$$

$$l_{i+1}^{t+1} = ch\left(1 - \frac{l_i^{t+1}}{l_i^t}\right)\frac{l_{i+1}^t l_i^{t+1}}{l_i^t} \qquad (8)$$

Получаем явную разностную схему для вычисления значений *l* в узлах сетки.

Для проведения вычислений разработана программа, с помощью которой было установлено, что масштаб турбулентности убывает с ростом высоты.

Вычислив значения *l* в узлах выбранной сетки, находим значения *b* в этих узлах, воспользовавшись первым равенством из (3):

$$l_{i+1}^{t+1} = ch\left(1 - \frac{l_i^{t+1}}{l_i^t}\right)\frac{l_{i+1}^t l_i^{t+1}}{l_i^t} \qquad (9)$$

Из системы (1) видно, что зная *l* и *b,* легко рассчитать коэффициент турбулентного обмена *K* и среднюю скорость диссипации - *е*. Подставляя значение *K* в уравнения 1-3 системы можно найти скорости движения воздушных масс и потенциальную температуру. Таким образом, все неизвестные параметры замкнутой системы (1-2) будут найдены.

Приведем примеры вычисления значений *l* и *b*, с помощью указанной программы, если время наблюдения – Т=5 минут, нижняя граница пограничного слоя - Z_1=0 м, высота пограничного слоя – Z_2=1000 м, шаг сетки по высоте – *dz*=100 м, шаг сетки по времени – *dt*=30 с, начальное значение масштаба турбулентности – l_0=500 м, граничное значение - $l_{z1=}\sqrt{(dt*i)3*T}$, где *i*-номер шага по времени. Рассчитанные значения представим в соответствующих таблицах.

Таблица значений масштаба турбулентности (*l*)

T,c / z, м	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
0	0,052	0,074	0,09	0,104	0,117	0,128	0,138	0,148	0,157	0,165	0,173
100	500	692,04	839,41	963,64	1073,09	1172,04	1263,03	1347,73	1427,27	1502,51	1574,07
200	500	678,08	814,72	929,92	1031,41	1123,16	1207,54	1286,07	1359,84	1429,60	1495,96
300	500	665,13	791,83	898,65	992,76	1077,84	1156,08	1228,90	1297,30	1361,99	1423,52
400	500	653,12	770,61	869,66	956,92	1035,82	1108,37	1175,89	1239,32	1299,30	1356,36
500	500	641,98	750,93	842,77	923,69	996,85	1064,12	1126,74	1185,55	1241,17	1294,08
600	500	631,66	732,68	817,85	892,88	960,71	1023,09	1081,16	1135,69	1187,27	1236,33
700	500	622,08	715,76	794,73	864,31	927,21	985,05	1038,89	1089,46	1137,29	1182,78
800	500	613,20	700,07	773,29	837,81	896,14	949,77	999,70	1046,59	1090,94	1133,12
900	500	604,97	685,52	753,42	813,24	867,33	917,06	963,36	1006,84	1047,96	1087,07
1000	500	597,34	672,02	734,99	790,46	840,61	886,73	929,66	969,98	1008,11	1044,38

Таблица значений b – величины, пропорциональной кинетической энергии турбулентности

z, м \ t,c	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270
0	0,00018	0,00014	0,00012	0,00010	0,00009	0,00009	0,00008	0,00008	0,00007	0,00007
100	1,631	1,251	1,055	0,929	0,840	0,773	0,719	0,675	0,639	0,608
200	1,512	1,160	0,978	0,862	0,779	0,716	0,667	0,626	0,592	0,563
300	1,402	1,076	0,907	0,799	0,722	0,664	0,618	0,581	0,549	0,522
400	1,300	0,998	0,841	0,741	0,670	0,616	0,573	0,538	0,509	0,484
500	1,205	0,925	0,780	0,687	0,621	0,571	0,532	0,499	0,472	0,449
600	1,118	0,858	0,723	0,637	0,576	0,530	0,493	0,463	0,438	0,417
700	1,037	0,795	0,671	0,591	0,534	0,491	0,457	0,429	0,406	0,386
800	0,961	0,738	0,622	0,548	0,495	0,455	0,424	0,398	0,377	0,358
900	0,891	0,684	0,577	0,508	0,459	0,422	0,393	0,369	0,349	0,332
1000	0,826	0,634	0,535	0,471	0,426	0,392	0,364	0,342	0,324	0,308

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наац И.Э., Семенчин Е.А. «Математическое моделирование динамики пограничного слоя атмосферы в задачах мониторинга окружающей среды», Ставрополь, 1995 г.
2. Турчак Л.И., Плотников П.В. «Основы численных методов», М, 2002 г.

СИНТЕЗ НЕЙРОКОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНВАРИАНТНЫХ СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Стогней В.Г., Кретинин А.В.

Воронежский государственный технический университет, Воронеж

В работе представлена структурная схема инвариантной системы регулирования. Разработана нейросетевая модель нейроконтроллера. Обоснована перспективность использования нейросетевых технологий для синтеза управляющих звеньев инвариантных систем регулирования.

Искусственные нейронные сети (ИНС) успешно применяются для различных задач математического анализа, оптимизации, моделирования и управления. Уникальные возможности ИНС по нахождению скрытых физических закономерностей на основе стохастической статистики наблюдений, моделирования функционального континуума из дискретного множества основаны на мощных аппроксимационных возможностях нейросетевой вычислительной архитектуры. Проведенные исследования посвящены разработке инвариантных систем регулирования на базе искусственных нейронных сетей.

Современные энергетические объекты представляют собой сложные динамические системы с несколькими взаимосвязанными входными и выходными величинами. Рассматриваемые объекты характеризуются высокими температурами и давлениями, большими скоростями протекающих в них процессов. Большинство из них представляют собой системы со многими степенями свободы, подверженные действию многих внешних и параметрических возмущений.

Изучение процессов в энергетических объектах, их идентификация сопряжены с большими трудностями. Условия их работы не всегда предсказуемы с достаточной вероятностью. В связи с этим для обеспечения требуемых качеств управления системы автоматического регулирования (САР) таких объектов, как правило, состоят из большого количества автономных САР. Но многосвязные системы существенно усложняют настройку регулятора, делают его параметры более критичными к изменениям динамических свойств объекта, повышают опасность возникновения колебательных процессов и снижают качество регулирования.

Одним из перспективных методов повышения надежности и качества регулирования энергетическими объектами и упрощения систем является обеспечение инвариантности регулируемых величин относительно действующих на них возмущений. Обеспечение инвариантности позволяет увеличить точность регулирования без уменьшения запаса устойчивости. Реализации условий инвариантности предшествует увязка параметров основного звена регулирования. Увязка осуществляется по условиям минимально допустимой ошибки регулирования в возможных пределах изменения параметров звеньев по технологическим соображениям.

Схема организации обратных связей нейросетевого канала управления предложена в [1]. При возникновении управляющего воздействия нейроконтроллер по параметрам текущего и предыдущего состояний объекта должен формировать отображение $u_k \to n_k$ для заданного времени переходного процесса и постоянной АЧХ системы управления.

Для формирования обучающей выборки строятся эталонные временные характеристики переходных процессов сопряжением кубического сплайна и управляющего закона. Т.о., обучение производится по ошибке в управлении n_k в отличие от [2], где для решения подобной задачи использовался генетический алгоритм оптимизации, настраивающий параметры нейроконтроллера по ошибке в выходе объекта.

Для формирования отображения

$$n_k = f_{NET}(u_k, x_k, x_{k-1}) \quad (1)$$