

А.Б. Гусева (аспирант), **В.Г. Кушнарченко** (магистрант)

Донецкий национальный технический университет

guseva.annab@gmail.com, kushnar_vova@mail.ru

ДИСКРЕТНАЯ SIMULATION-МОДЕЛЬ СЕТЕВОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НА ОСНОВЕ БЛОЧНОГО ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА

Рассматривается формальная постановка задачи моделирования сетевого динамического объекта с распределенными параметрами (СДОРП) и преобразование СДОРП-модели на основе блочного численного метода (БЧМ) к форме дискретной Simulation-модели (DSM), являющейся базой для построения параллельного решателя уравнений. Предлагаются расчетные формулы DSM, основанные на одношаговом четырехточечном БЧМ.

математическое моделирование, сетевой динамический объект, блочный численный метод, дискретная Simulation-модель

Введение

Сложные сетевые динамические объекты с распределенными параметрами (СДОРП) различных предметных областей требуют при их исследовании высокопроизводительных средств и методов решения многомерных систем уравнений, а также компьютерной поддержки всех этапов разработки и применения средств моделирования [1, 2]. *Модель СДОРП* – это формальное представление топологии и система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих динамические процессы в ветвях и узлах объекта. *Simulation-моделью* (SM) принято называть модель, преобразованную к виду, удобному для применения численных методов. *Дискретную Simulation-модель* (DSM) получают посредством аппроксимации SM-уравнений, граничных и начальных условий расчетными формулами выбранного численного метода. Аппаратно-программная реализация DSM представляет собой решатель системы уравнений модели. *СДОРП-симулятор* реализует все этапы работ по моделированию – от представления топологии объекта до проведения модельных экспериментов. Перспективным направлением является разработка *СДОРП-симуляторов* в составе распределенных параллельных моделирующих сред (РПМС) общего и проблемно-ориентированного назначения [2]. При этом наряду с известными численными методами, применяемыми в последовательных языках моделирования и реализуемыми в РПМС, требуется построение параллельных решателей на основе новых блочных численных методов (БЧМ), в которых для каждого блока, состоящего из k точек, новые k значений функции рассчитываются

одновременно [3]. Рассмотрим ключевой этап в разработке параллельных БЧМ-решателей СДОРП-симуляторов – преобразование СДОРП-модели к ее DSM-форме.

Формальное описание (модель) и постановка задачи параллельного моделирования СДОРП

Топология аэродинамического сетевого динамического объекта характеризуется графом $G(m, n)$, который кодируется таблицей 1, имеющей m строк и $s+5$ столбцов. Здесь QJ – поток воздуха в ветви j ; AKk и EKk соответствуют начальному и конечному узлам j -ветви; $k \in (1, 2, \dots, n)$, $j \in (1, 2, \dots, m)$; $PAR(PJ_1, PJ_2, \dots, PJ_s)$ – множество s параметров PJ каждой ветви; AEJ – активный элемент в j -й ветви; $VECOMJ$ – вербальный комментарий, объясняющий технологическое назначение j -ветви.

Таблица 1. Исходное кодирование графа $G(m, n)$

AKk	EKk	QJ	PAR(PJ₁, PJ₂, ..., PJ_s)	AEJ	VECOMJ
------------	------------	-----------	---	------------	---------------

Для j -й ветви, не имеющей утечек воздуха, динамика расхода и давления описываются системой уравнений [4]

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{\partial P_j}{\partial \xi} = r_j Q_j^2 + \frac{\rho}{F_j} \frac{\partial Q_j}{\partial t} + r_j(\xi_p, t) Q_j^2 \\ -\frac{\partial P_j}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_j} \frac{\partial Q_j}{\partial \xi} \end{array} \right. , \quad (1)$$

в которой P_j , Q_j – давление и расход воздуха вдоль координаты ξ , отсчитываемой от начального AKk до конечного EKk узлов; r_j – удельное аэродинамическое сопротивление; F_j – площадь поперечного сечения ветви; ρ – плотность воздуха; a – скорость распространения звука в воздухе; $r_j(\xi_p, t)$ – регулируемое сопротивление; ξ_p – координата регулирующего органа.

Граничные условия для системы уравнений (1) – это функции давления в начальном P_{AKk} и конечном P_{EKk} узлах ветви i . По типу граничных условий ветви сети делятся на три вида:

– ветви, инцидентные внутренним узлам сети, в которых давление рассчитывается в процессе решения сетевой системы уравнений в соответствии с узловыми динамическими условиями

$$-\frac{\partial P_{wj}}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_{wj}} \frac{\partial Q_{wj}}{\partial \xi} , \quad (2)$$

где P_{wj} – давление в узле WJ ; Q_{wj} – суммарный поток воздуха в узле WJ ; F_{wj} – площадь поперечного сечения j -й ветви в узле;

– ветви, инцидентные узлу подключения вентилятора; в этом узле давление задается как характеристика вентилятора

$$P_{wj} = P_{AEj}(Q_j); \quad (3)$$

– ветви, инцидентные узлу выхода в атмосферу; здесь принимается постоянное давление атмосферы

$$P_{wj} = P_{ATM} = const. \quad (4)$$

Для всего графа имеем $n = n_1 + n_2 + n_3$ граничных условий, где n_1, n_2, n_3 – количества узлов с условиями (2), (3), (4) соответственно.

Начальные условия – заданные значения переменных вдоль координаты ξ :

$$P_j(\xi, 0), Q_j(\xi, 0) \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

Задачу параллельного моделирования СДОРП сформулируем следующим образом: для объекта, кодируемого таблицей 1 графа $G(m, n)$ и описываемого m системами уравнений (1) с n граничными (2), (3), (4) и $2m$ начальными условиями (5), разработать и имплементировать параллельные алгоритмические и аппаратно-программные средства, которые адекватно воспроизводят динамические процессы $P_j(\xi, t), Q_j(\xi, t)$ ($j = 1, 2, \dots, m$) при управлении расходами воздуха с помощью изменения граничных условий (3) и аэродинамических сопротивлений $r_j(\xi_p, t)$, а также действию возмущений производственного характера.

Дискретизированные по пространственной координате Simulation-модели j -й ветви и всего СДОРП

В результате аппроксимации системы уравнений (1) по методу прямых с шагом $\Delta\xi$ по пространственной координате получим следующие уравнения для k -ого элемента j -ой ветви:

$$\begin{aligned} \frac{P_{jk} - P_{j,k+1}}{\Delta\xi_{jk}} &= \frac{\rho}{F_{jk}} \frac{dQ_{jk}}{dt} + r_{jk} Q_{jk} \left| Q_{jk} \right| + r_{jk}(\xi_p, t) Q_{jk} \left| Q_{jk} \right|; \\ \frac{Q_{jk} - Q_{j,k+1}}{\Delta\xi_{jk}} &= \frac{F_{jk}}{\rho a^2} \frac{dP_{j,k+1}}{dt} \end{aligned} \quad (6)$$

Внутренние граничные условия типа (2) аппроксимируются уравнением:

$$\frac{dP_{wi}}{dt} = \frac{\rho a^2}{F_{wi}} \frac{Q_{jk} - \sum_{jwi} (Q_{jwi1} - Q_{jwiMj})}{\Delta\xi_{jk}} \quad (7)$$

Здесь $P_{wi} = P_{jMj+1}$ – давление в конечном узле последнего элемента j -ветви с расходом $Q_{jk} = Q_{jMj}$, который направлен в wi -узел; $jwi \in j$ – номер ветви из множества $j=1, 2, \dots, m$, которая инцидентна узлу wi ; при этом $jwi1$ является первым элементом j -ветви с wi как начальным узлом (выток), а $jwiMj$ – конечным элементом с wi как конечным узлом (приток). Каждая ветвь разделяется при аппроксимации на M_j элементов Q_{j1}, \dots, Q_{jMj} . При этом значения давлений нумеруются как $P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jMj+1}$. Следует отметить, что

j -ветвь имеет начальный узел w_i с давлением $P_{w_i}=P_{j1}$ и конечный узел w_{i+a} ($a = const$) с давлением $P_{w_{i+a}} = P_{jM_{j+1}}$.

Для аэродинамического объекта с распределенными параметрами каждая ветвь представляется в виде двух векторов Q_j, P_j ($j = 1 \dots m$):

$$- \text{поток воздуха в } j\text{-ой ветви: } Q_j = (Q_{j1}, Q_{j2}, \dots, Q_{jM_j})^T \quad (8)$$

$$- \text{давление в } j\text{-ой ветви: } P_j = (P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jM_{j+1}})^T \quad (9)$$

При этом количество элементов в векторах вычисляется по длинам ветвей l_j и единому для СДОРП шагу $\Delta\xi$:

$$M_j = l_j / \Delta\xi \quad (10)$$

Дискретизированная по пространственной координате модель j -ветви содержит M_j систем уравнений (6) при $k=1, 2, \dots, M_j$. Для вычисления компонент векторов (8), (9) приведем систему (6) к форме пространственно-дискретизированной *Simulation-модели* (ПДСМ)

$$\begin{cases} \dot{Q}_{jk} = \alpha_j (P_{jk} - P_{j,k+1}) - \beta_j Q_{jk} |Q_{jk}| - \beta_{rj} Q_{jk} |Q_{jk}| \\ \dot{P}_{j,k+1} = g_j (Q_{jk} - Q_{j,k+1}) \end{cases} \quad (11)$$

с коэффициентами $\alpha_j, \beta_j, \beta_{rj}, g_j$, зависящими от параметров j -ветви. При разработке ПДСМ для всего СДОРП необходимо представить m систем уравнений типа (11) для всех ветвей при $j=1, 2, \dots, m$:

$$\begin{cases} \dot{Q}_{1k} = \alpha_1 (P_{1k} - P_{1,k+1}) - \beta_1 Q_{1k} |Q_{1k}| - \beta_{r1} Q_{1k} |Q_{1k}| \\ \dot{P}_{1,k+1} = g_1 (Q_{1k} - Q_{1,k+1}) \end{cases} \quad (12)$$

.....

$$\begin{cases} \dot{Q}_{mk} = \alpha_m (P_{mk} - P_{m,k+1}) - \beta_m Q_{mk} |Q_{mk}| - \beta_{rm} Q_{mk} |Q_{mk}| \\ \dot{P}_{m,k+1} = g_m (Q_{mk} - Q_{m,k+1}) \end{cases}$$

$k=1, 2, \dots, M_m$

В соответствии с (2) сформулируем n_1 граничных условий для внутренних узлов СДОРП ($w_i=1, 2, \dots, n_1$):

$$\frac{dP_{w_l}}{dt} = \frac{\rho a^2}{F_{w_l}} \frac{Q_{jk} - \sum_{jw_l} (Q_{jw_l1} - Q_{jw_lM_j})}{\Delta\xi_{jk}} \quad (13)$$

.....

$$\frac{dP_{wnl}}{dt} = \frac{\rho a^2}{F_{wnl}} \frac{Q_{jk} - \sum_{jwnl} (Q_{jwnlI} - Q_{jwnlMj})}{\Delta \xi_{jk}}$$

Характеристики активных элементов (3) дают n_2 граничных условий вида

$$\begin{aligned} P_{wi} &= P_{AEJ}^I(Qj) \\ &\dots\dots\dots \\ P_{wi} &= P_{AEJ}^{n_2}(Qj). \end{aligned} \tag{14}$$

При этом $wi = n_1 + 1, n_1 + 2, \dots, n_1 + n_2$, если нумерация узлов продолжает номера из (13).

Для n_3 узлов подключения к атмосфере имеем по (4):

$$\begin{aligned} P_{wi} &= P_{(n_1+n_2)+1} = P_{ATM}^I = const, \\ &\dots\dots\dots \\ P_{wi} &= P_n = P_{ATM}^{n_3} = const. \end{aligned} \tag{15}$$

При указанной нумерации имеем в (15) $wi = (n_1 + n_2) + 1, \dots, (n_1 + n_2) + (n_3 - 1), n$.

Система (12) вместе с граничными условиями (13), (14), (15) образует пространственно-дискретизированную СДОРП-Simulation-модель.

Построение дискретной модели СДОРП на основе блочного численного метода

Для задачи Коши

$$x' = f(t, x), \quad x(t_0) = x_0 \tag{16}$$

временная ось, состоящая из M дискретных значений, разбивается на N блоков с шагом τ , каждый из которых состоит из k точек (рис 1). Каждая нулевая точка $(t_{n,0})$ является начальной для расчета следующих точек блока, но при этом не входит в него.

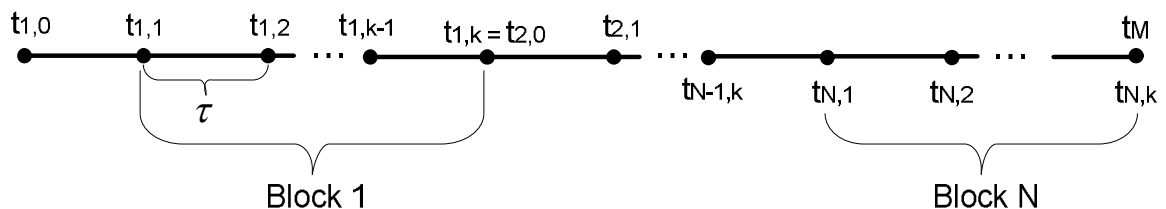


Рисунок 1 – Схема разбиения временной оси на блоки

Существует два типа блочных методов: одношаговые и многошаговые многоточечные [2, 3]. Для одношаговых блочных методов характерно

определение начальной точки блока, исходя из одного рассчитанного значения последней точки предыдущего блока. Если для расчета нулевой точки n -ого блока принимают участие две и более точки предыдущего блока, речь идет о многошаговом блочном методе.

В общем виде уравнение m -шагового k -точечного блочного метода записывается следующим образом [3]:

$$u_{n,i} = u_{n,0} + i\tau \left[\sum_{j=1}^m b_{i,j} F_{n,j-m} + \sum_{j=1}^k a_{i,j} F_{n,j} \right] \quad (17)$$

Здесь:

$u_{n,i}(i\tau)$ – приближенные решения в точке i блока n в момент времени $i\tau$; $n=1,2,\dots,N$; $i=1,2,\dots,K$.

$u_{n,0}$ – приближенное решение в нулевой точке блока n ; для первого блока данная величина будет являться начальным условием задачи Коши, для последующих блоков нулевая точка каждого блока будет совпадать с последней точкой предыдущего, т.е. $u_{2,0} = u_{1,K}$, ..., $u_{N,0} = u_{N-1,K}$;

$F_{n,j} = f(t_n + j\tau; u_{n,j})$ – значение правой части в точке j блока n , где $j = 1, 2, \dots, m$;

$F_{n-1,j} = f(t_{n-1} + j\tau; u_{n-1,j})$ – значение правой части в точке j блока n ;

$a_{i,j}$, $b_{i,j}$ – коэффициенты, предварительно рассчитываемые с помощью построения интерполяционного многочлена Лагранжа.

Преобразуем пространственно-дискретизированную СДОРП-Simulation-модель (12), (13), (14), (15) в DSM-форму на основе одношагового ($m=1$) многоточечного блочного численного метода (рис. 2)

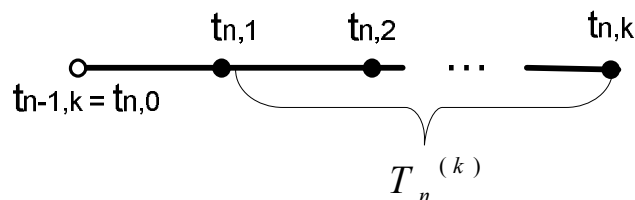


Рисунок 2 – Шаблон одношаговой k -точечной разностной схемы.

Формулы для параллельного двухточечного блочного метода можно получить из (17), предварительно рассчитав коэффициенты $a_{i,j}$ и $b_{i,j}$ с помощью построения интерполяционного многочлена Лагранжа [2, 3].

При $k=4$ расчетные формулы блочного метода будут иметь такой вид [3]:

$$\begin{aligned}
U_{n,1} &= \frac{\tau}{720}(251F_{n,0} + 646F_{n,1} - 264F_{n,2} + 106F_{n,3} - 19F_{n,4}) + U_{n,0}; \\
U_{n,2} &= \frac{\tau}{90}(29F_{n,0} + 124F_{n,1} + 24F_{n,2} + 4F_{n,3} - F_{n,4}) + U_{n,0}; \\
U_{n,3} &= \frac{3\tau}{80}(9F_{n,0} + 34F_{n,1} + 24F_{n,2} + 14F_{n,3} - F_{n,4}) + U_{n,0}; \\
U_{n,4} &= \frac{2\tau}{45}(7F_{n,0} + 32F_{n,1} + 12F_{n,2} + 32F_{n,3} + 7F_{n,4}) + U_{n,0}.
\end{aligned} \tag{18}$$

Возвращаясь к системе уравнений (12), изменим индексацию элементов ветвей с целью корректного представления дискретной модели:

$$\begin{cases} \dot{Q}_{jv} = \alpha_j(P_{jv} - P_{j,v+1}) - \beta_j Q_{jv} |Q_{jv}| - \beta_{rj} Q_{jv} |Q_{jv}| \\ \dot{P}_{j,v+1} = g_j(Q_{jv} - Q_{j,v+1}) \end{cases} \tag{19}$$

Здесь v – номер элемента j -ой ветви ($v=1, 2, \dots, M_j$). Следует заметить, что слагаемое $\beta_{rj} Q_{jv} |Q_{jv}|$ соответствует регулируемым сопротивлениям $r_j(\xi_p, t)$, которые устанавливаются в одной ξ_p -точке заданного v -элемента j -ветви.

Предлагается следующая методика разработки ДСМ для j -ветви:

1. Выбираются параметры j -й ветви из табл. 1.
2. Задается T_{sim} – длительность исследуемых динамических процессов, сек.
3. Определяется шаг $\Delta\xi$, единый для всех ветвей СДОРП; так, для шахтных вентиляционных сетей представляет интерес диапазон шага $5.0 \leq \Delta\xi \leq 50.0$ м.
4. Вычисляются шаг по времени $\tau = \Delta\xi/a$, количества шагов $M = T_{sim} / \tau$ и блоков $N = M/k$ (мы рассматриваем метод с $k=4$).
5. Для наглядного представления будущих вычислений разбивается ось времени в диапазоне $0 \leq t \leq T_{sim}$ по шаблону рис.2 для $k=4$ на блоки с номерами $n = 1, 2, \dots, r-1, r, r+1, \dots, N-1, N$. Этот шаблон следует сделать для обоих уравнений системы (19), чтобы представить возможные взаимосвязи и необходимый обмен данными между Q - и P -процессами.
6. Согласовать обозначения переменных, коэффициентов и индексов уравнений ДСМ (12), (13), (14), (15) с обозначениями в (17), (18) в виде $Q_{jv,n,i} = U_{n,i}$, $P_{jv+1, n,i} = U_{n,i}$, а в правых частях $F_{n,0}$, $F_{n,1} - F_{n,4}$ сделать пометки о принадлежности их к Q_j - или P_j -уравнениям.
7. Записываются следующие системы БЧМ-ДСМ-уравнений для вычисления Q_j - и P_j -значений в каждой точке n -го блока:

$$\begin{aligned}
U_{n,1} &\Rightarrow Q_{jv,n,1} = \frac{\tau}{720} (251F_{n,0} + 646F_{n,1} - 264F_{n,2} + 106F_{n,3} - 19F_{n,4})_{Qjv} + Q_{jv,n,0}; \\
U_{n,2} &\Rightarrow Q_{jv,n,2} = \frac{\tau}{90} (29F_{n,0} + 124F_{n,1} + 24F_{n,2} + 4F_{n,3} - F_{n,4})_{Qjv} + Q_{jv,n,0}; \\
U_{n,3} &\Rightarrow Q_{jv,n,3} = \frac{3\tau}{80} (9F_{n,0} + 34F_{n,1} + 24F_{n,2} + 14F_{n,3} - F_{n,4})_{Qjv} + Q_{jv,n,0}; \\
U_{n,4} &\Rightarrow Q_{jv,n,4} = \frac{2\tau}{45} (7F_{n,0} + 32F_{n,1} + 12F_{n,2} + 32F_{n,3} + 7F_{n,4})_{Qjv} + Q_{jv,n,0}. \\
\\
U_{n,1} &\Rightarrow P_{jv+1,n,1} = \frac{\tau}{720} (251F_{n,0} + 646F_{n,1} - 264F_{n,2} + 106F_{n,3} - 19F_{n,4})_{Pjv+1} + P_{jv+1,n,0}; \\
U_{n,2} &\Rightarrow P_{jv+1,n,2} = \frac{\tau}{90} (29F_{n,0} + 124F_{n,1} + 24F_{n,2} + 4F_{n,3} - F_{n,4})_{Pjv+1} + P_{jv+1,n,0}; \\
U_{n,3} &\Rightarrow P_{jv+1,n,3} = \frac{3\tau}{80} (9F_{n,0} + 34F_{n,1} + 24F_{n,2} + 14F_{n,3} - F_{n,4})_{Pjv+1} + P_{jv+1,n,0}; \\
U_{n,4} &\Rightarrow P_{jv+1,n,4} = \frac{2\tau}{45} (7F_{n,0} + 32F_{n,1} + 12F_{n,2} + 32F_{n,3} + 7F_{n,4})_{Pjv+1} + P_{jv+1,n,0}.
\end{aligned} \tag{20}$$

Значения $Q_{jv,n,0}$ и $P_{jv+1,n,0}$ в нулевой точке блока n приравниваются значениям в последней точке предыдущего блока для $n > 1$ ($t_{n-1,k} = t_{n,0}$, рис.2). Правая часть $F_{n,k}$ для нахождения переменных Q_{jv} из (19) вычисляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
(F_{v,n,0})_{Qjv} &= \alpha_j(P_{jv,n,0} - P_{jv+1,n,0}) - \beta_j Q_{jv,n,0} | Q_{jv,n,0} | - \beta_{rj} Q_{jv,n,0} | Q_{jv,n,0} | \\
(F_{v,n,1})_{Qjv} &= \alpha_j(P_{jv,n,0} - P_{jv+1,n,1}) - \beta_j Q_{jv,n,1} | Q_{jv,n,1} | - \beta_{rj} Q_{jv,n,1} | Q_{jv,n,1} | \\
(F_{v,n,2})_{Qjv} &= \alpha_j(P_{jv,n,0} - P_{jv+1,n,2}) - \beta_j Q_{jv,n,2} | Q_{jv,n,2} | - \beta_{rj} Q_{jv,n,2} | Q_{jv,n,2} | \\
(F_{v,n,3})_{Qjv} &= \alpha_j(P_{jv,n,0} - P_{jv+1,n,3}) - \beta_j Q_{jv,n,3} | Q_{jv,n,3} | - \beta_{rj} Q_{jv,n,3} | Q_{jv,n,3} | \\
(F_{v,n,4})_{Qjv} &= \alpha_j(P_{jv,n,0} - P_{jv+1,n,4}) - \beta_j Q_{jv,n,4} | Q_{jv,n,4} | - \beta_{rj} Q_{jv,n,4} | Q_{jv,n,4} |
\end{aligned} \tag{21}$$

Функция $F_{n,k}$ для вычисления P_{jv+1} из (19) рассчитывается как:

$$\begin{aligned}
(F_{v,n,0})_{Pjv+1} &= g_j(Q_{jv,n,0} - Q_{jv+1,n,0}) \\
(F_{v,n,1})_{Pjv+1} &= g_j(Q_{jv,n,1} - Q_{jv+1,n,1}) \\
(F_{v,n,2})_{Pjv+1} &= g_j(Q_{jv,n,2} - Q_{jv+1,n,2}) \\
(F_{v,n,3})_{Pjv+1} &= g_j(Q_{jv,n,3} - Q_{jv+1,n,3}) \\
(F_{v,n,4})_{Pjv+1} &= g_j(Q_{jv,n,4} - Q_{jv+1,n,4})
\end{aligned} \tag{22}$$

СДОРП-ДСМ получим, распространив предложенную методику на все ветви и узлы:

1. Для каждой СДОРП-ветви в соответствии с (12) при $j=1,2,\dots,m$ составляется БЧМ-ДСМ (20) – (22).
2. Внутренние граничные условия (13) представляются по БЧМ-формулам (18) с учетом обозначений, используемых в (20), (21), (22).

3. Внешние граничные условия (14), (15) придаются соответствующим инцидентным ветвям СДОРП.

Ввиду большой размерности уравнений БЧМ-ДСМ сетевого объекта их формирование следует реализовать как функцию генератора уравнений РПМС.

Выводы

Для параллельного моделирования сложных сетевых динамических объектов с распределенными параметрами необходима алгоритмическая и программная поддержка построения решателей уравнений. В статье предложена и проиллюстрирована методика преобразования исходной модели СДОРП в дискретную форму на основе блочного четырехточечного численного метода. Этапы преобразований служат базой для реализации генератора уравнений виртуальной параллельной модели и MIMD-симулятора в составе распределенной параллельной моделирующей среды.

Список литературы

1. Svjatnyj V., Moldovanova O., Smagin A., Resch M., Keller R., Rabenseifner R.: Virtuelle Simulationsmodelle und ein Devirtualisierungsvorgang für die Entwicklung der parallelen Simulatoren von komplexen dynamischen Systemen. In: DonNTU, FRTI-Werke, Reihe "Probleme der Modellierung und rechnergestützten Projektierung von dynamischen Systemen", Band 5(116). – Donezk, 2006. – S. 36–43.
2. Feldmann L.P., Resch M., Svjatnyj V.A., Zeitz M.: Forschungsgebiet: parallele Simulationstechnik. In: DonNTU, FRTI-Werke, Reihe "Probleme der Modellierung und rechnergestützten Projektierung von dynamischen Systemen", Band 9(150). – Donezk, 2008. – S. 9-36.
3. Фельдман Л.П., Назарова И.А. Параллельные алгоритмы численного решения задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений / Л.П. Фельдман, И.А. Назарова // Математическое моделирование. - 2006. - Т.18., №6. - С.17-31.
4. Абрамов Ф.А. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии / Ф.А.Абрамов, Л.П.Фельдман, В.А. Святный.– К.: Наук.думка, 1981.–284с.

Надійшла до редакції 03.12.2010

Рецензент: канд.техн.наук, доц. Бондарева К. С.

А.Б. Гусева, В.Г. Кушнарченко

Донецький національний технічний університет

Дискретна Simulation-модель мережного динамічного об'єкту з розподіленими параметрами на основі блокового чисельного методу. Розглядається формальна постановка задачі моделювання мережного динамічного об'єкту з розподіленими параметрами (МДОРП) та перетворення МДОРП-моделі на основі блокового чисельного методу (БЧМ) до форми дискретної Simulation-моделі (ДСМ), що є базою до побудови параллельного вирішувача рівнянь. Пропонуються розрахункові формули ДСМ, що є зформованими на базі однокрокового чотирьохкрапкового БЧМ.

математичне моделювання, мережний динамічний об'єкт, блоковий чисельний метод, дискретна Simulation-модель

A.B. Guseva, V.G. Kushnarenko
Donetsk National Technical University

Block Numerical Method Based Discrete Simulation Model of Network Dynamical Object with Distributed Parameters. The simulation problem statement of network dynamical object with distributed parameters (NDODP) as well as the transformation of NDODP-model based on block numerical method (BNM) to discrete simulation model (DSM) are considered. DSM-formulas based on one-step four-point BNM are given in this article.
mathematical Simulation, Network Dynamic Object, Block Numerical Method, Discrete Simulation Model