

Міністерство освіти і науки України  
Національне агентство з акредитації України  
Національна металургійна академія України /НМетАУ/  
Технічний університет-ТУ Варна /Болгарія/  
Університет Алгарве Фаро /Португалія/  
Університет Аалто - Гельсінкі /Фінляндія/  
Інститут Інтегрованих форм навчання НМетАУ  
Національний авіаційний університет/Україна/  
Дніпровський освітній центр/Україна/  
Харківський торгово-економічний інститут  
Київського національного торговельно-економічного університету

Ministry of Education and Science of Ukraine  
National Accreditation Agency of Ukraine  
National Metallurgical Academy of Ukraine /NMetAU/  
Technical University - Varna /Bulgaria/  
Universidade do Algarve /Portugal/  
Technical University - Vienna /Austria/  
Institute of Integrated Education of NMetAU /Ukraine/  
National Aviation University /Ukraine/  
Dnipro Education Center/Ukraine/  
Kharkiv Trade and Economics Institute  
of Kyiv National University of Trade and Economics

XV Міжнародна конференція  
«Стратегія якості  
в промисловості і освіті»  
3 - 6 червня 2019 р., Варна, Болгарія

# МАТЕРІАЛИ

XV International Conference  
«Strategy of Quality in Industry and Education»  
June 3-6 2019, Varna, Bulgaria

# PROCEEDINGS

Дніпро - Варна  
Dnipro - Varna  
2019

УДК 658.562.012.7  
МЗ4

Схвалено Вченою радою Національної металургійної академії України  
Вченою радою Інституту інтегрованих форм навчання НМетАУ  
і редакційною радою конференції.

Укладачі: Т.С. Хохлова, Ю.О. Ступак

XV Міжнародна конференція «Стратегія якості в промисловості і освіті»:  
Матеріали. - Дніпро-Варна, 2019. - 552 с.

ISBN 978-617-7433-81-0

До збірника матеріалів XV Міжнародної конференції «Стратегія якості в промисловості і освіті» (3-6 червня 2019 р., Варна, Болгарія) увійшли 122 публікації (статті, тези), що надійшли до оргкомітету і були прийняті до опублікування.

Proceedings of the XV International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» (June 3-6, 2019, Varna, Bulgaria) includes 122 reports (articles, theses) received by the organizing committee and accepted for publication.

Верстку збірника здійснено з оригіналів,  
наданих авторами в електронному вигляді.

Тексти доповідей / статей, тез / та їх назви в змісті відтворені мовами оригіналів,  
в редакції, запропонованій авторами або узгодженій з ними на етапі рецензування.

Укладачі збірника і поліграфічне підприємство не несуть відповідальності  
за зміст доповідей, а також якість ілюстрацій,  
виконаних з відхиленнями від вимог редакційної ради.

ISBN 978-617-7433-81-0

© НМетАУ, 2019  
© ІніФН, 2019  
© ТУ-Варна, 2019  
© Хохлова Т.С.,  
Ступак Ю.О., упорядкування, 2019

2. Russell, P. St. J. Photonic Crystal Fibers: A Historical Account. //IEEE Leos Newsletter, 2007, №10, pp.11-15.
3. J.D. Joannopoulos, S.G. Johnson, J.N. Winn, R.D. Meade. Photonic crystals: molding the flow of light. New Jersey, Princeton University Press, 2008, pp. 44-46.
4. Yariv, A. P. Yeh. Photonics. New York, Oxford University Press, 2007, pp. 95.
5. Павлова, Е.Г.. Механизмы потерь в фотонно-кристаллических волокнах. // Lightwave Russian Edition, 2005, №3, с.55.

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ**

*Проф., докт. техн. наук В.П. Иващенко*

*Проф., докт. техн. наук Г.Г. Швачич*

*Ст. препод. Е.В. Иващенко*

*Национальная металлургическая академия Украины,*

*г. Днепр, Украина*

*Ст. препод. Л. Ф. Сушко*

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет*

*г. Днепр, Украина*

### **Постановка проблемы и анализ последних достижений в данной области**

Технологические операции, протекающие в печах и агрегатах металлургического производства, являются высокотемпературными теплофизическими процессами. Практика последних лет показывает, что ни интенсификация процессов металлургического производства, ни конструктивное совершенствование разнообразного металлургического оборудования не возможны без изучения и анализа явлений теплопереноса методами математического моделирования. Теоретическое исследование процесса тепло- и массообмена в значительной степени базируется на их численном моделировании с использованием ПЭВМ. Дело еще и в том, что с развитием параллельной вычислительной техники исчезают и принципиальные проблемы в потенциально бесконечном увеличении пиковой производительности компьютеров. Параллельные вычислительные системы развиваются очень быстро, а с появлением вычислительных кластеров параллельные вычисления стали доступными многим. Для построения кластеров, как правило, используются массовые процессоры, стандартные сетевые технологии и свободно распространяемое программное обеспечение. Именно эти обстоятельства сделали подъемными так называемые большие задачи металлургической теплофизики. В металлургическом производстве мы сталкиваемся с множеством самых разнообразных и взаимосвязанных процессов. Это и теплоперенос, и массообмен, гидродинамические процессы в расплавах, а также изменение агрегатного состояния вещества, деформационные явления под действием силовых и термических нагрузок и т.п. Большинство таких процессов может быть описано на основе дифференциальных уравнений механики сплошной среды, отражающих объективные законы сохранения

массы, количества движения и энергии. В математическом выражении это системы, многомерных нелинейных дифференциальных уравнений, которые вместе с законами химии и термодинамики описывают взаимосвязанные процессы, а также их взаимодействие. Современные вычислительные методы и современные вычислительные машины позволяют уже сейчас выполнять детальные параметрические исследования математических моделей весьма сложных физических процессов, или, как часто говорят, проводить так называемый вычислительный эксперимент.

В последнее время в теории и практике исследования различных теплообменных процессов, в тепловом проектировании и моделировании тепловых режимов технических систем интенсивно развивается новое направление исследований, основывающееся на принципах решения обратных задач теплообмена [1 - 4]. Особое распространение эти методы получили при экспериментальном изучении нестационарных тепловых процессов, сопровождающих работу теплонагруженных агрегатов и систем космических и спускаемых летательных аппаратах, ракет - носителей, различных тепловых машин; при определении теплофизических характеристик материалов, построении и корректировке математических тепловых моделей технических систем и в ряде других случаев.

Заметим, что в настоящее время обратные задачи металлургической теплофизики формулируются с точки зрения соотношений причина - следствие. Приведение их к экстремальным постановкам позволяет сформулировать их решения как задач оптимального управления. После формулировки прямых математических моделей и введения в модель функционала по принципу невязки, искомое решение различных обратных задач характеризуется только неизвестными параметрами управления.

Обычные результаты теплофизического эксперимента ныне обрабатываются с учетом требований статистики и теории научного планирования эксперимента, так как эти результаты являются статистическими величинами. В настоящее время разработан упрощенный метод решения ОЗТ для нестационарных режимов, который сводится к минимизации функционала на решениях прямых задач в форме минимизации функции многих переменных. Именно это обстоятельство позволяет унифицировать разработанные алгоритмы относительно причинных характеристик процессов теплообмена и динамики окружающей среды в задачах металлургической теплофизики экологии. В значительной мере это способствует и объединению отдельных решений ОЗТ в виде комплекса программ.

Предложенный подход при разработке методов, алгоритмов и программ отличается оригинальностью и может быть использован в различных отраслях металлургической теплофизики, а также задачах экологии металлургической промышленности.

### **Основные результаты исследований**

Численное моделирование процессов тепло- и массообмена приобретает все более значительную роль в связи с тем, что для современной науки и техники необходимы данные о таких процессах, экспериментальное изучение которых в лабораторных или натурных условиях очень сложно и дорого, а в некоторых случаях и просто невозможно. В данной работе в качестве методологической основы для построения численных методов решения подобных задач предлагается использовать конечноразностные и численно-аналитические методы в сочетании с методом расщепления. Метод расщепления обеспечивает экономическую и устойчивую реализацию численных моделей методом скалярных прогонок. Для таких систем приемлемое ускорение в большинстве случаев достигается путем распараллеливания операций в соответствующем последовательном методе, образующем линейные участки.

Принятие в качестве методологической основы дискретизации дифференциальных

задач разностных схем расщепления многомерных пространственных задач теории тепло- и массообмена, во-первых, обеспечивает экономичную и устойчивую реализацию численных моделей методом скалярных прогонок, относящихся к задачам линейной алгебры [5 — 7]. И, во-вторых, -известно, что наибольший эффект от параллельного процессора достигается в тех случаях, когда он применяется для выполнения матричных вычислений линейной алгебры [ 6 ].

Рассмотрим два способа дискретизации дифференциальных задач на примере решения простейшего скалярного уравнения математической физики

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = a \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} \quad [x \in [0, L], t \in [Z_0, T]] \quad (1)$$

с начальным

$$Y_{0,0} = Y_0(x) \quad (2)$$

и граничными условиями первого рода

$$Y_{m,0} = 4W(t) = YL(t) . \quad (3)$$

Области определения искомой функции  $Y(x, t)$  сопоставим сеточную область  $t_j = j \cdot Dt$ ,  $J =$

$$Dt = T/M, M \in \mathbb{Z} , \quad (4)$$

$$x_p = p \cdot Dx, p = 0, 2m, Dx = (x_L - x_0) / 2m, m \in \mathbb{Z} .$$

Простейшая неявная схема по времени и центральные разности по координате  $x$  приводят к СЛАУ:

$$C_p Y_{p+1,1} - Y_{p,1} + D_p Y_{p-1,1} = f_p, 1, P = 1, 2m - C \quad (5)$$

где

$$C_p = \frac{D_p}{(1 + 2A)}, k = \frac{-r}{Dx^2} Dt, \quad f = \frac{Y_0 P 1}{(1 + 2A)}, \quad (6)$$

В алгоритме  $(5) Y_{0,1} = Y^w(\cdot), Y_{m,1} = YL(t_j)$  - известные граничные функции,

$Y_{0,1}$  - начальная вектор-функция.

СЛАУ (5) имеет трехдиагональную структуру, и ее решение достаточно просто реализуется рекуррентно по формулам прямой прогонки

$$p \frac{C_p}{1 - D_p E_{p-j}}, p \quad G = \frac{D_p C_{p-1} \sim f_{p,1}}{1 - D_p E_{p-j}}, \quad (7)$$

где

$$E_0 = 0, G_0 = Y_{0,1} = YW(t_j), \quad (8)$$

что обеспечивает ее старт.

Обратная прогонка по формулам

$$v = F Y + G \tag{9}$$

реализуется по индексу  $p$  от  $p=2m-1$  до  $p=1$ .

Решение же этой задачи методом прямых также приводит к СЛАУ (5), но с другим функциональным наполнением [4]:

$$f = C Y^* - Y^* + D Y^* \tag{10}$$

где  $Y^*_{p+1} (s_x = 0, \pm 1)$  - частные решения неоднородного уравнения

$$Y^*_{p+1} = (X)_{p+1} Y^*_{p+1} \tag{11}$$

Заметим, что здесь

$$x_{p+1} - x_p \tag{12}$$

- нормированная пространственная переменная,  $a=P$  - корни характеристического уравнения

$$P^2 = 0. \tag{13}$$

В качестве априорной информации, используемой при этом, является предложение о кусочно - аналитической зависимости искомого решения по пространственной переменной. Поскольку конкретизация вида частного решения  $Y^*_{p+1}$  неизбежно связана и с конкретным видом начальных функций  $Y_{Op}(X)$  (11), то приняв для них квадратичную зависимость

$$Y_{O_{M,j}}(s_x) = Y_{Opj} + X Y_{Op,2} + X^2 Y_{Op,S}, \tag{14}$$

где

$$Y_{Op,2} = 1 (Y_{Op41} - Y_{Op-1,1}) \tag{15}$$

видим, что построенное решение становится кусочно- аналитическим на полной совокупности  $p - X$  узлов сеточной области. Построение частных решений при таком предположении реализуется достаточно просто стандартными методами.

Реализуя алгоритм прогонок по формулам (7) - (9), решение СЛАУ в предложенной постановке (10) - (15) позволяет найти значения сеточных функций  $Y_{p1}$  в явном виде только как функций сеточного узла. Информационные графы обеих параллельных вычислительных алгоритмов представлены на рис. 1,2.

Именно на приведенных двух схемах: конечноразностной (5), (6) и численно-аналитической (5), (10)- (15) удобно реализовать алгоритм распараллеливания и отображения на параллельные вычислительные системы. Кроме того, такой подход позволяет организовать возможность раздельного определения теплофизических характеристик материала конструкций, т.е. позволяет получить решения коэффициентных и др. ОЗТ.

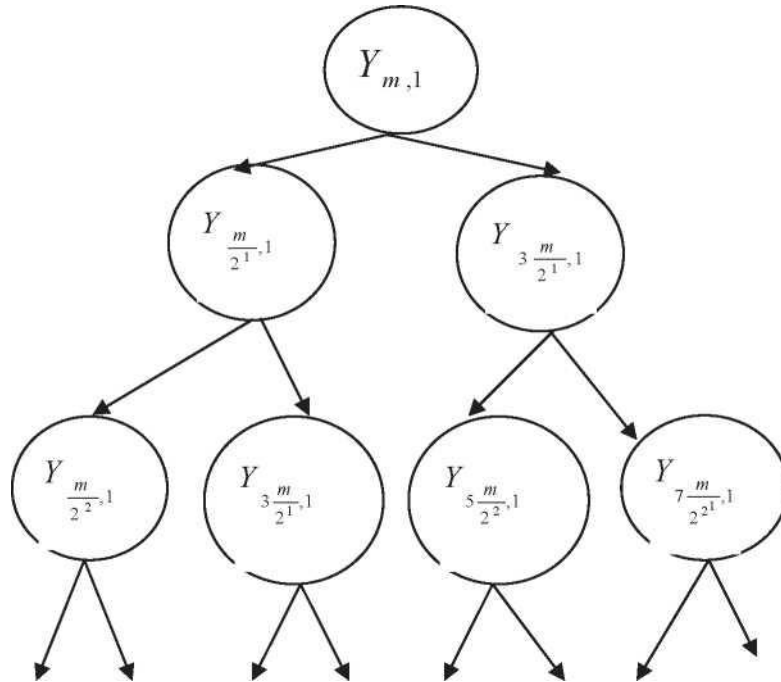
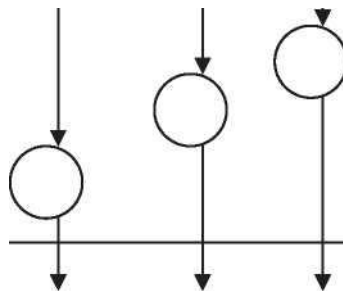


Рисунок 1 - Граф распараллеливания СЛАУ (5) методом «нечетно-четной» редукции строк

ВХОД



ВЫХОД

Рисунок 2 - Полностью параллельный алгоритм по методу прямых

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. В данной работе разработаны алгоритмы распараллеливания СЛАУ, имеющих трехдиагональную структуру. Принятие в качестве методологической основы дискретизации многомерных дифференциальных задач разностных схем расщепления, во - первых, обеспечивает экономичную и устойчивую реализацию численных моделей методом скалярных прогонок, и, во - вторых, известно, что наибольший эффект от параллельного процессора достигается в тех случаях, когда он применяется для выполнения матричных



вычислений линейной алгебры.

2. Очевидно, что дальнейшие исследования должны быть направлены на исследование топологии сеточных областей. Это приводит к распараллеливанию СЛАУ с помощью перестановок, в основе которых лежит алгоритм «нечетно-четной» редукции строк по ярусам (рис. 1).

3. Применение численно-аналитического метода прямых и методов прогонки к распараллеливанию СЛАУ трехдиагональной структуры позволит конструировать ее точные поузловые решения, имеющие максимальную параллельную форму и, следовательно, минимально возможное время его реализации на параллельных вычислительных устройствах (рис. 2).

4. Рассматривая математические модели как функции входных параметров, достаточно просто реализуются и алгоритмы решения ОЗТ.

### *Ссылки*

1. Швачич Г.Г., Шмукин А. А. Особенности конструирования параллельных вычислительных алгоритмов для ПЭВМ в задачах тепло - и массообмена // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии и системы управления. 2 (8) 2004. - с. 42-47.
2. Воеводин В. В. Математические модели и методы в параллельных процессах. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат.мет., 1986. - 29с.
3. Системы параллельной обработки: Пер. с англ. / Под редакцией Д. Ивенса. - М.: Мир, 1985. - 416с.
4. Воеводин В. В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. - СПб.: о ВХВ - Петербург, 2002. - 608с.: ISBN 5-94157-160-7
5. Valeriy Ivaschenko, Gennadiy Shvachich, Alexander Sobolenko, Dmitriy Protopopov Information system of intelligent support of decision-making for rolling process. - Journal of Enterprise Technologies. Volume 1, Issue 3 , Pages 4-9, (June 2003).
6. Иващенко В.П., Швачич Г.Г., Шмукин А.А. Некоторые аспекты проблемы математического моделирования задач металлургической теплофизики на основе применения параллельных вычислительных систем кластерного типа // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Том 7. Дніпропетровськ: «Системні технології», 2005. С. 23-30.
7. Иващенко В.П., Швачич Г.Г., Шмукин А.А. Некоторые математические аспекты конструирования параллельных вычислительных алгоритмов в задачах моделирования сложных систем // II International Conference "Strategy of Quality in Industry and Education" (June, 2-9 2006, Varna, Bulgaria): Proceeding, Volume 1. P. 196201.



<b>Жейнов Жейно Иванов</b> Моделирование характеристик оптических волокон Брегга	377
<b>Иващенко В.П., Швачич Г.Г., Иващенко Е.В., Сушко Л.Ф.</b>	
Математические особенности конструирования параллельных вычислительных алгоритмов .....	383
<b>Ivaschenko O.V.</b> On the problem of modeling multiprocessor systems architecture	389
<b>Козыренко СИ</b> Информационная безопасность в условиях цифровизации учебного процесса .....	398
<b>Кудін В.І., Ілюшин Д.А., Онищенко А.М., Оноцький В.В.</b> Досвід поєднання сучасних інформаційних технологій у навчальному процесі студентів спеціальності “Прикладна математика” .....	401
<b>Мещеряков Д.В.</b> Нечисловая обработка данных в инфракрасной системе с биологической обратной связью .....	403
<b>Новойтенко І.В., Малиновський В.В.</b> Кіберзагрози безпеці бізнесу .....	406
<b>Онищенко А.М., Оноцький В.В., Кудін В.І.</b> Моделювання міжгалузевої взаємодії в умовах імплементації глобальних еколого-економічних угод ...	411
<b>Парушев Пламен</b> Разработване на научно-изследователски стенд за оценка на математическите модели на електрически двигатели .....	415
<b>Pikilniak A.V.</b> The use of modern CAD/CAM/PDM/PLM technologies for training the engineers of specialty “Applied mechanics” .....	420
<b>Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.О., Алексеева О.В.</b>	
Спеціалізовані комп'ютерні системи аналізу, моделювання та прогнозування стану атмосферного повітря на територіях розміщення об'єктів енергетики України .....	424
<b>Савова Светлана Г., Савова Валерия В.</b> Качество программирования и тестеринга	431
<b>Сєріков Я.О.</b> Підвищення надійності вимірювань параметрів інформаційного сигналу при неруйнівному контролі якості будівельних матеріалів часовим ультразвуковим імпульсним методом .....	434
<b>Sistuk V.O.</b> The use of VISSIM road traffic microsimulation with SSAM/HCM-techniques in an interdisciplinary education .....	438
<b>Смірнова Т.В., Дреев О.М., Смірнов О.А.</b> Огляд окремих експертних систем оптимізації технологічних процесів .....	442
<b>Spirov R.P., Grancharova N.S.</b> FPGA Kalman filter of thermal image object tracking ..	444
<b>Shvachych G.G., Khohlova T.S., Karpova T.P., Kurt-Ametova G.S.</b> Automated system of the complex planning and accounting of educational establishment	449
<b>Швачич Г.Г., Хохлова Т.С., Курт-Аметова А.С., Швачич А.Г.</b>	
Информационная система автоматизации документооборота медицинских учреждений ..	460
<b>Shvachych G.G., Khohlova T.S., Moroz B.I., Udovyk I.M., Sushko L.F.</b>	
Numerical and analytical concert visualization solutions of applied tasks ...	464
<b>Shvachych G.G., Khohlova T.S., Moroz B.I., Alekseiiev M.O., Udovyk I.M</b> On the problem of minimizing the slowdown of computations in multiprocessor systems .....	471

Наукове видання

XV Міжнародна конференція  
«Стратегія якості у промисловості і освіті»  
3 - 6 червня 2019 р., Варна, Болгарія

МАТЕРІАЛИ

Українською, англійською, болгарською та російською мовами  
Відповідальні за випуск: Хохлова Т. С., Ступак Ю. О., Журавель В.П.  
Укладачі: Хохлова Т. С., Ступак Ю. О.  
Комп'ютерна верстка Ступак Ю. О.  
Технічний редактор Ступак Ю. О.  
Здано на складання 20.05.19. Підписано до друку 20.05.19.  
Формат 60x84/8 Папір офсетний. Друк офсетний.  
Умови. друк. арк. 32,08. Наклад 350 прим. Замовлення № 2205

ТОВ «Дніпровський освітній центр»  
49000, Україна, м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського, 1/2

Видавництво «Дике Поле»  
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Троїцька, 31-А.  
Тел.: (061) 213-75-95; 213-75-05.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи 33 № 004 від 23.08.2001 р.

ISBN 978-617-7433-81-0

XV Міжнародна конференція «Стратегія якості у промисловості і освіті» (3-6 червня 2019 р., Варна, Болгарія): Матеріали. Упорядники: Хохлова Т.С., Ступак Ю.О. - Дніпро-Варна, 2019. - 552 с.

Збірник містить матеріали у вигляді статей, доповідей та тез доповідей (122 назви), які надійшли до Оргкомітету XV Міжнародної конференції «Стратегія якості у промисловості і освіті» до 04 травня 2019 р. та прийняті до опублікування.

УДК 658.562.012.7