



## РЕЦЕНЗИЯ

на представеният от **Явор Иванов Вутов** дисертационен труд на тема: **“Паралелни итерационни методи за неконформни крайни елементи”** за присъждане на образователната и научна степен **“Доктор”** по професионално направление **4.5 Математика**, научната специалност **01.01.13 „Математическо моделиране и приложение на математиката“**

Рецензент: доц. д-р Красимир Георгиев, ИИКТ – БАН

### ***А. Област на изследванията, актуалност, основни цели.***

Представеният дисертационен труд е в една актуална и бързо развиваща се област. Той представлява едно завършено изследване свързано с теоретични изследвания, разработване на алгоритми, компютърни програми и приложения при решаване на важни класове задачи с висока размерност.

**Основните цели** на изследванията в дисертационния труд обхващат следните групи от задачи:

- (а) разработване и изследване на паралелен MIC(0) преубословител за тримерни елиптични задачи при дискретизация с използване на неконформни крайни елементи на Rannacher – Turek;
- (б) разработване и изследване на паралелен блочен MIC(0) преубословител от тип разделяне на преместванията за тримерната система на Lame и приложението му за числено решаване на еластични задачи върху вокселни структури
- (в) разработване и изследване на паралелен алгоритъм за числена хомогенизация на вокселни структури.

**Предмет на изследване** в представения дисертационен труд е ефективното решаване на сложни задачи с голяма размерност. Понятието „голяма размерност“ е едно от най-бързоменящите се понятия и изцяло зависи от производителността и другите параметри на съвременните високопроизводителни компютърни архитектури. Независимо обаче, от прогреса в изчислителната техника, от особена важност за ефективното решаване на големи и свръхголеми сложни задачи са достиженията в областта на числените методи и алгоритмите за тяхната компютърна реализация.

Ако искаме да характеризираме с няколко думи **методологията на изследването** то ще споменем понятия като изчислителна сложност на алгоритми, ускорение и ефективност на паралелните алгоритми (оптимална асимптотична паралелна ефективност), компютърни ресурси (брой на използваните процесори и обем на използваната оперативна памет).

**Б.** Дисертацията, в обем от 113 страници, се състои от увод, четири глави и литература. Библиографията включва 95 заглавия, от които 87 на английски език, седем на български език и едно на руски език. От цитираните заглавия 37 са публикувани след 2005 г., т. е. в последните десет години. Според рецензента всички посочени източници в библиографията правилно са цитирани в текста на дисертационния труд. В дисертацията има 23 фигури и 29 таблици.

**Уводът** е в обем от 13 страници. В него дисертанта е представил мотивацията си за подготвянето на представената дисертация. С много интересни разсъждения е показана актуалността и съвременното състояние на разглежданата тематика. Показани са някои от най-важните случаи при които компютърното моделиране е незаменим инструмент, и понякога единствен, при решаване на сложни задачи. Дадени са някои от основните дефиниции. Описани са методологията на изследванията и основните задачи, които са стояли пред дисертанта при разработването на представената дисертация. В резюме е представено съдържанието на отделните глави. Тук могат да се намерят и списъците с научните публикации на докторанта по темата на дисертацията, с апробацията на резултатите и с участието на

докторанта в научни проекти. В пет точки са представени основните научни и научно – приложни приноси, за които претендира докторанта.

Получените и представени за защита резултати са оформени в следващите четири глави, които са структурирани добре и се четат без затруднения.

**Първа глава** (16 стр.) е едно естествено продължение на уводната глава, в която се продължава анализа на състоянието на изследванията по проблема досега. В нея се прави едно обстойно въведение в предметната област. Последователно са представени основни факти и резултати от метода на крайните елементи (*MKE*), като по-специално внимание е обърнато на неконформните крайни елементи предложени от Rannacher – Turek, линеаната теория на еластичността, метода на спрегнатия градиент с преубославяне (*PCGM*), модифицираната непълна факторизация на Cholecki (*MIC(0)*) и алгебричния мултигрид метод (*AMG*). Представени са някои популярни мрежови генератори на двумерни и тримерни крайни елементи. В края на тази глава докторанта е представил някои бележки относно програмна реализация на разгледаните алгоритми при използване на съвременни компютърни системи. Обоснован е изборът на средства – алгоритмичния език C++ и комуникационната среда MPI (Message Passing Interface).

**Втора глава** (обем от 34 стр.) е посветена на конструирането на паралелен алгоритъм за реализиране на преубославяне с използване на *MIC(0)* при решаване на скаларни елиптични задачи. Представения алгоритъм се базира на подходящи модификации на елементните матрици на коравина. Представен е алгоритъм за конструиране на локално оптимизирани *MIC(0)* преубословители. Доказани са три Леми касаещи оценки на числото на обусловеност на конструираните матрици на елементно и глобално ниво и едно специално свойство на елементната матрица на коравина. На основата на тези леми е направен обстоен локален анализ на спектралното число на обусловеност. Последните три параграфа на тази глава са посветени на паралелната реализация на предложения алгоритъм. Описанието на алгоритъма е придружено с подходяща визуализация и представяне на схемата на комуникациите при различните разгледани варианти. Подробно и разбираемо са описани съответните компютърни алгоритми с графично представяне на връзките между процесорите и съхраняваните в тях елементи

на съответните матрици и вектори. Изведени са оценки на изчислителната сложност времената при паралелна реализация на алгоритмите. Направени са съответните сравнения и на базата на тях са направени изводи и препоръки за използването на един или друг вариант. В последния параграф са представени резултати от направените компютърни експерименти като е демонстрирана сходимост на предложените алгоритми и са показани времена на изпълнение, паралелно ускорение и паралелна ефективност. Паралелните експерименти са проведени на три различни компютърни системи – две на IBM и една Cray. Направен е анализ на получените резултати и съответните изводи и препоръки.

По направеното изложение има четири публикации, които са излезли от печат – една с Impact Factor и две с SJR Index.

Рецензентът е съгласен с описаните приноси представени в „Увод” (1-ви и 4-ти булети на стр. 13 от „Основни научни и научно приложни приноси”), касаещи постиженията в Глава 2.

**Трета глава** (обем от 16 стр.) е посветена на. Представяне на разработения от докторанта паралелен метод и алгоритъм за решаване на уравненията на Lame в теорията на еластичността с използване на вече конструирания и описан в Глава 2 на дисертационния труд, *MIC(0)* преубословител. Използван е изотропния вариант за разделяне на преместванията. Разгледана е и възможността за използване на паралелен мултигрид преубословител (алгебричен мултигрид Boomer AMG от библиотеката Hupre за решаване на големи разреждени системи уравнения на масивно-паралелни компютри, разработена в Lawrence Livermore National Laboratory на САЩ.). Изведени са съответните оценки за изчислителната и времева сложност с подходяща илюстрация на комуникациите между процесорите. В последния параграф на тази глава са представени резултати от проведените компютърни експерименти. Представени са в табличен вид, сравнени са и са анализирани резултати за сходимостта при два варианта на преубославяне с непълна факторизация, както и два варианта на дискретизация. Специално внимание е отделено на задачата с променливи скокове на коефициентите. В табличен вид са представени резултати от проведените компютърни експерименти върху същите три паралелни

компютърни системи, както и в Глава 2 на дисертацията. Дадени са получените времена, паралелно ускорение и ефективност на различни варианти и параметри на задачата. Получените резултати са анализирани и са направени съответните изводи и препоръки за използването на различните варианти върху различните компютърни системи.

По направеното изложение има четири публикации, които са излезли от печат. Две от тях са с SJR Index.

Рецензентът е съгласен с описаните приноси представени в „Увод“ (2-ри и 4-ти булети на стр. 13 от „Основни научни и научно приложни приноси“) , касаещи постиженията в Глава 3.

**Четвърта глава** (обем от 26 стр.) е посветена на приложения на разработените от докторанта и представени в предишните глави паралелни алгоритми при решаване големи реалистични задачи. Те включват най-общо казано симулации на еластични структури и числена хомогенизация. В началото са разгледани симулации на фундаменти на различни конструкции, които предават и разпределят общото натоварване върху земната повърхност (скали, почва). Използван е алгоритъмът описан в Глава 3. Компютърните експерименти са проведени на три различни компютърни клъстери в National Energy Research Scientific Computing Center в САЩ. Получените резултати са представени в табличен вид. Представен е направения анализ, изводи и препоръки. Следващата реална задача е от изследванията на костните микроструктури с пряко отношение към изследванията и лечението на остеопорозата. Приложен е разработения в Глава 3 паралелен алгоритъм за симулация на натоварването на трабекуларната част на костта, която се характеризира с ниска плътност и голяма повърхнина и е типичен пример за силно хетерогенна среда. Представени са резултати от проведени паралелни тестове за времената и броя итерации и са направени сравнения при използване на  $MIC(0)$  и  $AMG$  преубословители за различни скокове на коефициентите. Графично са дадени получените напрежения в костта. На следващо място е разгледан метод за числена хомогенизация (извличане на макро характеристики на даден обект вземайки в предвид микроструктурата му) за намиране на ефективния еластичен тензор за даден композитен образец. Дадени са съответни дефиниции за ортотропен материал, тензор на

коравина, главни направления на анизотропия и други необходими такива. Представените резултати от компютърни експерименти касаят числената хомогенизация на трабекуларни тъкани. Експериментите са проведени на българския суперкомпютър IBM Blue Gene/P. В табличен вид са представени резултати за компютърните времена и броя на итерациите при използване на двата преубословителя *MIC(0)* и *BoomerAMG*. Последните представени резултати от компютърни експерименти се отнасят до хомогенизация на полимерни нанокompозити (комбинации от полимерна матрица и пълнители, размерът на поне някой от които е в нанометровия обхват). Направени са сравнения с резултати получени със специализирания комерсиален софтуер за числена хомогенизация GeoDict (модул ElastoDict) и са показани разлики в рамките на 1%. Направени са и са представени сравнения с оценки получени с аналитични способности. Направен е анализ на получените резултати и сравнения и са показани съвпадения или съвсем близки стойности на получените от симулацията или по аналитичен способ, резултати.

По направеното изложение има седем публикации, които са излезли от печат. Пет от тях са с SJR Index.

Рецензентът е съгласен с описаните приноси представени в „Увод“ (3-ти, 4-ти и 5-ти булети на стр. 13 от „Основни научни и научно приложни приноси“), касаещи постиженията в Глава 4.

**В.** Рецензираната дисертация за получаване на образователната и научна степен „доктор“ представлява съдържателен научно-изследователски труд, който е резултат от системната работа на автора в съответната и описана по-горе, предметна област. Дисертацията включва, както важни и направени с професионализъм теоретични изследвания, така и множество компютърни експерименти. Има ясно изразен и напълно завършен цикъл “теория – софтуер – компютърен експеримент – анализ, изводи и препоръки”. Стилът на изложение е коректен и ясен.

**Г.** Списъкът от публикации на Явор Вутов, представени за участие в процедурата се състои от **11** работи. Девет от тях са в списания, като една е в списание с Impact Factor, а осем са в поредици със SJR Index. Те са публикувани в периода 2007 г. – 2015 г. Две от статиите са самостоятелни,

четири с един съавтор и останалите с повече от един съавтор. Публикациите обхващат основните резултати представени в дисертацията. Резултати по материали от дисертацията са докладвани многократно на специализирани научни конференции и семинари у нас и в чужбина в периода 2007 – 2015 г., на част от които съм присъствал лично и съм с отлични впечатления от направените изложения. Не са ми представени цитирания на представените публикации на дисертанта.

**Д.** Авторефератът (36 стр.) правилно отразява съдържанието на дисертацията и основните приноси, представени за защита.

**Е.** Нямам съществени критични бележки, които биха повлияли на положителната ми оценка на представения дисертационен труд. Въпреки това бих си позволил да отбележа следното: (а) част от цитираните имена на автори, методи и алгоритми са изписани в оригинал, както според мен е правилно, а част са преведени на български или по-точно, изписани на кирилица, което затруднява четенето; (б) на стр. 75 може да се види „Таблица ??“; (в) дисертационния труд няма заключение и анализ на евентуални бъдещи изследвания на основата на постигнатите и представени в дисертационния труд, резултати.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Представената ми за рецензиране дисертация удовлетворява всички изисквания на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на ЗРАСРБ, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в БАН и съответния такъв правилник на ИИКТ – БАН. Авторът и, Явор Иванов Вутов, е показал, че притежава задълбочени познания по тематиката на дисертацията, може да работи самостоятелно и до провежда качествени научни изследвания.

**Имайки предвид гореизложеното, убедено препоръчвам на уважаемото Жури да присъди на Явор Иванов Вутов научната и образователна степен “Доктор” в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика, професионално направление 4.5**

**Математика, научна специалност 01.01.13 “Математическо моделиране и приложение на математиката”.**

20.08.2015 г.

София