

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационния труд за присъждане на образователната и научна степен „доктор” по професионално направление 5.2. “Електротехника, електроника и автоматика”, Докторска програма “Автоматизация на производството”

**Автор на дисертационния труд:** маг. инж. Диан Богданов Джибаров

**Тема на дисертационния труд:** ИЗСЛЕДВАНЕ НА АЛГОРИТМИ ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА СИСТЕМИ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ

**Рецензент:** проф. д-н инж. Тодор Атанасов Стоилов,  
Институт по информационни и комуникационни технологии – БАН,  
София, ул. Акад. Г. Бончев бл.2

### Обща част

Представеният ми материал за дисертационна работа е в обем на 136стр. като 26 от тях съдържат програмен, код, приложен към дисертационната работа. Дисертационният труд е структуриран в 4 глави увод, приноси, списък на направени публикации, използвана литература. Списъкът на ползваната литература включва 100 литературни източници.

### 1. Актуалност на разработения в дисертационния труд проблем

Собственият принос на дисертационния труд се отнася в проектиране и разработване на специализиран софтуер за изпълнение на специфични изчисления от областта на адаптивни системи и регулатори. Сложността на адаптивните системи характеризират и голямата сложност на необходимите изчисления за да се реализира изисквания по идентификация на параметри на обекта за управление, анализиране вида и характеристики на смущаващи въздействия, определяне на промени в параметрите на регулатора за да се реализира в цялост адаптивното управление на дадена техническа система. Дисертационната работа е ограничила вида на управляваната техническа система до системи с топлинни обекти, които имат разпределени параметри. Тези обекти се описват с частни диференциални уравнения, които имат по сложен характер от традиционните системи със съсредоточени параметри, тъй като трябва да се отчитат два аргумента при управлението: време и пространство. При традиционните системи за управление се отчита само един аргумент, времето, което прави процеса на управление с по малък обем изчисления. Като следствие, дисертационната работа определя последователност от изчисления, като трябва да се определи чрез рекурсивни изчисления параметрите на обекта, началните стойности на сигналите на входа и изхода на обекта, да се изчислят параметрите на регулатора. Тази последователност от операции по адаптивното управление изисква значителен обем изчисления. В дисертационния труд се представят математическите операции и последователности за изпълнение на тези изчисления. Те са изведени в резултат от прилагане на дискретни модели за описание на обекта и регулатора в адаптивната система за управление.

Дисертационният труд е тематично насочен към проблемите на адаптивно управление чрез промяна на параметрите на регулатора в зависимост от постъпили смущения върху обекта.

Оценявам положително тематичната насоченост на дисертационния труд. Считам, че изследванията, описани в дисертационния труд имат прагматична, полезна стойност, тъй като са адресирани към полезни случаи на управление на топлинни обекти. Актуалността и значимостта от разработване на тази тематика е разбираема. Но необходимостта от прилагане на значителен формализъм, трудни математически зависимости, които не са разбираеми от неспециалисти ограничават възможността за лесно разбиране на положителния потенциал от разработване на практичеки методи за реализиране на адаптивни регулатори.

Рецензентът оценява положително изследванията в дисертационния труд. Сложността на разработваната тематика не се е оказала пречка за докторанта да доведе сложните формални модели до програмна реализация на среда за симулации и оценки на качествата и характеристиките на адаптивни системи за управление за класа на топлинни обекти и системи.

Експериментите на дисертационния труд се състоят в провеждане на симулационни изчисления в програмна среда за оценка и сравнение на различни алгоритми при идентификация на параметри на системата и при различен вид на адаптивния регулатор. Програмната среда е разработена от докторанта и е ползвана при обучение на магистри.

Считам, че важността на дисертационните изследвания са видни, получените резултати са полезни и дават положителен атестат за квалификацията на кандидата.

## **2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.**

Дисертационната работа прави значителни анализи на съществуващи техники и модели, подпомагащи проектирането на адаптивни регулатори за управление на нестационарни обекти. Коментирани са особеностите на обекти, които се описват с частни диференциални уравнения. Дисертационната работа не работи директно с такова описание на обектите. Използван е метод за преобразуване на частните диференциални уравнения в обикновени диференциални като е използван метод на крайни интегрални преобразувания. Така в дисертационната работа адаптивното управление е синтезирано в алтернативно изменение на частни диференциални уравнение до вида на обикновени такива.

В глава 1 е направен обзор на модели за формализиране и прилагане на адаптивно управление. Обзорът е подробен. Избрана е форма на текстово коментиране на особености на модели и решения за адаптивно управление. Представено е, че като решение, адаптивното управление се реализира с два контура за управление: класически контур с обратна връзка за управлението обект-регулатор; втория контур е предназначен за идентифициране на промените в обекта и определяне на променливите характеристики на регулатора. В тази глава е правено сравнение на технологията за управление с предсказващ модел и на принципа на работа на адаптивните системи. Изводът е че тези технологии имат общи страни като управлението с предсказващ модел

се стреми да поддържа управлението съгласно предварително зададения модел, докато адаптивното управление следи състоянието и смущенията на реалния обект.

Глава 1 завършва с дефиниране на целта на дисертационния труд, определена като изследване и синтез на адаптивни регулатори за обекти с разпределени параметри, описвани с частни диференциални уравнения. В декомпозираните задачи на дисертационния труд се уточнява, че обекта с разпределени параметри ще се преобразува с прилагане на метода на крайни интегрални преобразования, за да се достигне до обект със съсредоточени параметри (описван с обикновени диференциални уравнения). В следствие с прилагане на формализъм на дискретни преобразования да се определят параметри на адаптивния регулатор. Съответните формални зависимости се прилагат при изчисления и програмна симулация в среда, която е разработена от докторанта. Така се сравняват различни методи за идентификация на параметри (PMHK-рекурсивен метод на най-малки квадрати; PMPHK—разширен метод на най-малките квадрати; PMMP-рекурсивен метод за максимално правдоподобие) и адаптивни регулатори (PMO-регулатор с минимално отклонение; PMX-регулатор с мъртъв вход).

Глава 1 дава доказателства, че докторантът много добре е навлязъл в тази проблемна област и прецизно познава, и оценява със собствени критерии достъпните литературни източници по тематика на адаптивно управление на сложни обекти. Като обем са ползвани 100 литературни източника. Видно от представения списък, много от цитираните материали са с дати 2016- 2018г., което е доказателство, че докторантът се е стремил да следи и ползва актуални решения и резултати в областта на адаптивно управление на сложни обекти.

### **3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси**

В Дисертационния труд се е целяло да се изведат формални зависимости и последователности, които да съставят модел за отразяване на дейности по идентификация и параметричен синтез на адаптивен регулатор. Особеност на обекта за управление, е че характеристиките му се описват с частни диференциални уравнения. Но в дисертационната работа тези характеристики първоначално се обработват по метода на крайни интегрални преобразования за да се достигне до обикновени диференциални уравнения, а в следствие до описание в областта  $Z$  на дискретни преобразования. Дискретните преобразования са обосновани в гл.2. Изходно описание на обекта е прието със зависимост (2.3), което е линейно стохастично диференчно уравнение. То се преобразува чрез  $Z$  преобразование, което позволява в следствие да се изведе предавателната функция на обекта, графично интерпретирано на фиг.2.1. За идентификация на параметрите на обекта, докторантът избира да тества методите, коментирани по горе PMHK, PMPHK, PMM, оценявани в табл.2.1. Като следваща изчислителна процедура са анализирани начините за изчисление на началните стойности на измервани входни  $U$  и изходни сигнали на обекта  $Y$ . Необходимостта от изпълнение на тези изчисления за затворена система изисква модифициране на изведените зависимости, което е правено в гл.2. Дисертационната работа ограничава изследванията си за адаптивни регулатори до PMX и PMO. Формалните зависимости за синтез на адаптивни регулатори от избрания вид и избраните методи за идентификация са изведени в гл. втора. Тази глава има характер на изследване на математически модели

на адаптивни регулатори. Не са правени връзки и формализации с конкретен физически обект за управление.

В трета глава се разработва формалното преобразование на система описвана с частни диференциални уравнения, до система с обикновени диференциални уравнения. Така системата с разпределени параметри се апроксимира до система със съсредоточени параметри. В дисертационната работа е избрана начална система с диференциални уравнения (3.1), която описва топлинни обекти и системи. С прилагане на крайни интегрални преобразования описанието на обекта се апроксимира до система (3.15) от линейни диференциални уравнения. С прилагане на Лапласово преобразование се извежда предавателната функция на обекта, а в следствие тази предавателна функция е преобразувана за дискретен случай в област  $Z$ . В гл.3 е направен опит да се обоснове и реализира изведените зависимости в програмна система за изчисления. Рецензентът трудно вижда връзки между приложения програмен код на изчисления и изведени формални зависимости по идентификация и адаптиране на параметри на регулатора. Беше направено предложение да се представи в блок схема съответствието между изпълнявани изчисления и структурата на програмната система, разработена от дисертанта. Понастоящем в трета глава се коментира изпълнението на програмни операции, но те не са свързани с формалните модели и зависимости, представени в гл.2. Така програмните участъци в гл.3 не илюстрират формалния характер на процесите за управление и идентификация в адаптивните системи, обект на разработка в дисертационния труд. Съответно в описанието на в т.3.5 до 3.7 не се показва качество при планиране на симулационните изследвания от приложение на програмната система за адаптивното управление.

В глава 4 са представени графични резултати от прилагане на различни режими на идентификация (РМНК, РМРНК, РММП) за избрани случаи на адаптивен регулатор (РМО, РМХ). Считаю, че това е най-полезната част от дисертационното изследване, защото се дават реални числени и графични данни от съответно приложеното управление и може да се направи сравнение и оценка по различни показатели.

Рецензентът счита, че е било необходимо да се мотивира съдържанието и промяната на параметрите  $a$  и  $x$ . Той счита, че за сравнение на различните методи на идентификация (РМНК, РМРНК, РММП) е можело да се съставят графики, съдържащи едновременно изходите на обекта при тези три вида идентификация. Така от сравнението на различните режими на идентификация ще се види веднага полезността на изведени и програмно реализирани режими на работа и синтез на адаптивни регулатори.

Считаю, че разработваната тематика има значителна вътрешна сложност. Сложността произтича от необходимостта да се формализират зависимости, което прави процеса на синтез на адаптивен регулатор абстрактен и математизиран. Това изисква и значителна подготовка и квалификация на докторанта. Рецензентът счита, че докторантът много добре е усвоил тематичната област на синтез на адаптивни регулатори. Той демонстрира умело прилагане на сложни формални зависимости в коректен ред и последователност.

Считаю, че разработваната тематика има научно-приложен характер. Анализирани са нетривиален процес на синтез на адаптивен регулатор на сложен обект, описван с нетрадиционни системи диференциални уравнения с частни производни. Анализирани са няколко модификации на адаптивен регулатор и

няколко модела на идентификация на параметри на системата за управление. Съответно дефинираните алгоритми са реализирани програмно за да се прави програмна и числена симулация при различни режими на работа на системата за управление.

Докторантът показва добро познаване на процеса на синтез на адаптивен регулатор. Видно е от направените симулации на различни адаптивни регулатори и режими на идентификация изменението на качеството на управление на сложни обекти със сложни, адаптивни средства.

#### **4. Характеристика на дисертационния труд**

За изпълнение на поставените задачи в дисертационния труд в глава първа се коментират модели и алгоритми за реализиране на адаптивно управление на сложни системи. Анализирана е и възможността за управление на системи с разпределени параметри, описвани с частни диференциални уравнения.

В глава 2 са въведени и аналитично представени режими на идентификация на параметри на системата както и видове адаптивни регулатори. Дисертационният труд избира да прави експерименти с три вида процедури на идентификация: РМНК-рекурсивен метод на най-малките квадрати; РМРНК – рекурсивен разширен метод на най-малките квадрати; РММП-рекурсивен метод на максимално правдоподобие. Съответно симулации се правят с два вида адаптивни регулатори: РМО-регулатор с минимално отклонение; РМХ – регулатор с мъртъв ход.

В глава 3 формално са изведени зависимости за апроксимиране описанието на обект с разпределени параметри до система със съсредоточени параметри, което се описва със система от диференциални уравнения. В следствие чрез прилагане на право преобразование на Лаплас и въвеждането на дискретното описание на обекта в  $Z$  областта се извежда предавателната функция на обекта. Тази предавателна функция е използвана за симулиране работата на система с адаптивен регулатор. Симулацията е правена в програмна среда, разработвана от докторанта.

В четвърта глава са правени и показвани резултати от програмната симулация на системи за управление с прилагане на избраните три модели за идентификация и двата вида адаптивни регулатори.

Рецензентът счита, че представените резултати от дисертационното изследване са представителни, полезни и добре илюстрират същността на задачата за синтез на адаптивен регулатор на обект с разпределени параметри.

#### **5. Научни и/или научно-приложни приноси на дисертационния труд**

В дисертационния труд се прави формализация на задача за синтез на адаптивен регулатор за сложен обект с разпределени параметри (който се описва със система частни диференциални уравнения). Формализацията е правена като зависимости в дискретната област  $Z$  и е извеждана предавателната функция на обекта. Специфична разработка на дисертационния труд е разработването на програмна среда, която изчислява съответни параметри на обекта и адаптивния регулатор. С тази програмна среда са правени симулации на режими на работа на системата за управление. Така са оценявани полезност и качество на управление на адаптивния регулатор при

различни процедури на идентификация на параметри и различни видове адаптивни регулатори.

Считам, че разработваната тематика има научно-приложен характер. Анализирани са сложни процеси на синтез на адаптивен регулатор на сложен обект за управление.

Оценявам положително резултатите от изследванията на докторанта. Те имат пряко практическо приложение и доказват полезност и прагматичност на изследванията в дисертационния труд.

Считам, че дисертационният труд има научно-приложен принос в частта си на моделиране и формализиране на процеси, при идентификация на параметри, синтез на адаптивен регулатор, апроксимиране на обект с разпределени параметри до система със съсредоточени параметри.

Приложният принос е доказван чрез разработване на програмна среда за изчисляване параметри на системи за управление и симулиране на работата на сложни системи с адаптивен регулатор.

Оценявам тези научно-приложни и приложни приноси като достатъчни за тази дисертационна работа. Те доказват, че докторантът може да извършва самостоятелно изследователска и инженерна дейност, да прилага средства от теорията на управлението за автоматизиране на дейности и за адаптиране на режими на работа към смущения в обектите за управление.

При четенето на дисертационния труд се налага убеждението, че постигнатите резултати са основно лично дело на кандидата.

## **6. Оценка за съответствие с минималните национални изисквания и с допълнителните изисквания по чл. 1а, ал. 2 от ППЗРАСРБ**

Рецензентът оценява, че представените публикации съответстват на темата и съдържанието на дисертационния труд. Представени са 6 публикации, Няма данни публикациите да имат SJR ранк. Една публикация е в списание, издание на Технически Университет – София, филиал Пловдив. Останалите публикации са правени на международни конференции у нас.

Считам, че представените публикации са достатъчни за защита на образователната и научна степен „доктор”. Няма данни за цитирания.

В дисертационния труд е отбелязано че докторантът е участвал в 6 научни проекта, които тематично са свързани с дисертационния труд. Това е допълнителен плюс за процедурата по защита.

Съгласно ППЗРАСРБ, за изпълнение на минималните национални изисквания за получаване на ОНС „Доктор” по професионално направление 5.2. “Електротехника, електроника и автоматика” се изисква наличие на поне 30 точки по Група показатели Г. Същият брой точки се изисква и от Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в ТУ-Варна. В приложената справка се вижда, че докторанта е постигнал 120 точки, което значително надвишава нормативните изисквания по Група показатели Г.

## **7. Значимост на научноизследователските и приложни приноси на дисертационния труд**

Докторантът Диан Джибаров демонстрира владение на средства и методи за решаване на задачи за синтез на адаптивни регулатори за сложни системи с разпределени параметри. Показано е много дълбоко познаване на процеса на

формализиране на зависимости, които имат място при управление с адаптивни регулатори. Докторантът е приложил формалните изчисления в програмна система за автоматизиране на процеси по анализ и оценка на системи за управление. Разработената програмна система е използвана за програмни симулации на адаптивни регулатори за оценка на качеството на управление на системата за управление.

Рецензентът счита, че дисертационните изследвания са полезни и са довели до прагматични резултати като упражнения за обучението на магистри.

В представените документи не са включени разделителни протоколи между съавторите на публикациите.

## **8. Някои препоръки и критични бележки**

Оценявам положително представеният ми дисертационен труд. Видно от съдържанието докторантът е провел значителна изследователска работа.

Рецензентът изказва мнение, че в дисертационния труд не е показана връзката между разработвани формални модели за синтез на адаптивни регулатори и включването на тези модели в програмната среда за симулация. Прилаганият програмен код „виси“ без обяснения и не изглежда необходим и полезен за дисертационния труд, Приложение 1. Необходимо е коректно представяне на тази програмна система и начините на изпълнение на задаваните формални зависимости по идентификация, формализация и синтез.

Считам, че в гл.4 трябва да се илюстрира сравнение между режими на работа на адаптивния регулатор при използване на различни процедури за идентификация и сравнение на различни адаптивни регулатори при използване на еднакви режими на идентификация. Така от сравнението на резултати лесно се оценяват преимущества на различните начини за реализиране на адаптивно управление на избрания сложен обект с разпределени параметри. Представените резултати в табл.1 не са коментирани и не е ясно защо при еднакви изходни параметри на обекта установената стойност на процеса е различна при различните методи за идентификация.

Рецензентът счита, че докторанта Диан Джибаров убедително демонстрира своя изследователски труд и квалификация за провеждане на самостоятелни изследвания в областта на синтез на адаптивно управление на сложни системи с разпределени параметри.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Оценявам положително направените научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд на Диан Джибаров. Считаю, че изискванията на Закона за развитие на академичния състав в България и Правилника за неговото прилагане и Правилника за специфичните условия за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в ТУ-Варна са изпълнени в представения дисертационен труд. Горееизложеното ми дава основание да дам положителна оценка за представения дисертационен труд и да препоръчам на Научното жури да присъди на **Диан Богданов Джибаров** образователната и научна степен „доктор“ по професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, докторска програма „Автоматизация на производството“.

16.12.2020 Рецензент:

Проф. д-р инж. Тодор Стоилов