

РЕЦЕНЗИЯ

от проф. дн инж. Димитър Андонов Дичев на дисертационния труд на маг. инж. Красен Иванов Костов на тема: **„Интелигентно управление на електрохидравлична задвижваща система“** за присъждане на образователната и научна степен “доктор” в професионално направление “5.1 Машинно инженерство” и научна специалност **„Хидравлични и пневматични задвижващи системи“**,
научни ръководители: доц. д-р инж. Красимир Христов Орманджиев,
доц. д-р инж. Станимир Йорданов Йорданов
Технически университет-Габрово

1. Представени материали

Докторантът маг. инж. Красен Иванов Костов е зачислен в редовна докторантура към катедра „Енергийна техника“ при факултет „Машиностроене и уредостроене“ на Технически университет - Габрово. За изготвяне на настоящата рецензия са получени всички необходими за защитата документи, включително дисертационен труд, автореферат, копия на 7 публикационни материала по дисертацията, автобиография и др.

2. Актуалност на разработения в дисертационния труд проблем

Разработеният в дисертационния труд проблем е актуален и значим както в научно, така и в научно-приложно отношение. Съвременните електрохидравлични задвижващи системи намират широко приложение в промишлеността, транспорта, енергетиката и други области на техниката, в които се поставят все по-високи изисквания към точността, бързодействието, устойчивостта и надеждността на процесите на управление. Същевременно тяхното функциониране се характеризира със сложни динамични процеси, съществени нелинейности, параметрични изменения и въздействие на външни смущения, които затрудняват постигането на високи показатели на качеството при използване единствено на класически методи за управление.

Актуалността на изследванията се определя и от необходимостта електрохидравличните следящи системи да запазват своите динамични характеристики при изменение на работните режими и натоварването. В тази насока развитието на интелигентните и адаптивните методи за управление създава възможности за преодоляване на част от ограниченията на традиционните регулатори. Особен интерес представлява съчетаването на класическите закони за управление с методите на размитата логика, както и използването на робастни подходи, позволяващи отчитане на параметричните неопределености и смущаващите въздействия.

В този контекст избраната тема на дисертационния труд е навременна и съответства на съвременните тенденции в развитието на електрохидравличните задвижващи системи. Насочването на изследването към математичното и симулационното моделиране, експерименталната верификация и параметричната идентификация на системата, последвани от разработване и изследване на Fuzzy,

адаптивен Fuzzy-PID и робастен (H_∞) регулатор, позволява проблемът да бъде разгледан комплексно. Поставената цел за повишаване на качеството, устойчивостта и робастността на управлението при наличие на нелинейности, параметрични изменения и външни смущения е добре обоснована от характера на разглеждания обект и определя актуалността и практическата насоченост на дисертационното изследване.

3. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

В дисертационния труд е демонстрирано добро познаване на състоянието и развитието на изследванията в областта на електрохидравличните следящи системи и методите за тяхното управление. Направеният литературен обзор обхваща както принципите на изграждане и особеностите на електрохидравличните задвижващи системи, така и основните подходи за управление - от класическите P, PI, PD и PID регулатори до съвременните интелигентни методи, основани на размита логика, хибридно, невронно и невро-размито управление. Анализирани са характерните особености, предимствата и ограниченията на разглежданите подходи, като е отделено внимание на приложимостта им при системи със съществени нелинейности и променливи работни условия.

Литературният материал не е представен единствено като обзор на известни решения, а е използван за последователно извеждане на нерешените или недостатъчно разработени аспекти на проблема. На тази основа е обоснована необходимостта от развитие на подходи, осигуряващи адаптивна настройка на параметрите на регулаторите, съчетаване на класическите и интелигентните методи за управление и повишаване на устойчивостта на системата спрямо параметрични изменения и външни смущения.

Като положителна страна на дисертационния труд може да се посочи стремежът на докторанта да използва резултатите от литературния анализ като основа за собствените теоретични и експериментални изследвания. Това намира израз в разработването на математичен и симулационен модел на електрохидравличната следяща система, неговата експериментална верификация и параметрична идентификация, както и в последващото разработване и сравнително изследване на различни стратегии за управление. По този начин литературният обзор е непосредствено свързан с формулирането на целта и задачите на дисертацията и с избора на използваните методи за тяхното решаване.

Въз основа на изложеното считам, че докторантът показва добра степен на познаване на състоянието на изследвания проблем, способност за анализ и критично осмисляне на литературните източници и за творческото им използване при формулирането и решаването на поставените в дисертационния труд научно-приложни задачи.

4. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд

Избраната методика на изследване съответства на поставената цел и на основните задачи на дисертационния труд. Изследователският подход е изграден последователно и обхваща теоретичен анализ, математично и симулационно моделиране,

експериментални изследвания, параметрична идентификация, синтез на различни закони за управление и сравнителна оценка на получените динамични характеристики. Тази последователност е подходяща с оглед на поставената цел за повишаване на качеството, устойчивостта и робастността на управлението на електрохидравличната следяща система при наличие на нелинейности, параметрични изменения и външни смущения.

Съществено място в използваната методика заема разработването на математичен и симулационен модел на изследваната електрохидравлична следяща система с ротационен изпълнителен механизъм. Проведените експериментални изследвания и последващата идентификация на параметрите позволяват да се оцени адекватността на модела и да се създаде основа за изследване и синтез на различните стратегии за управление. Полученото добро съответствие между експерименталните и симулационните преходни процеси потвърждава приложимостта на избрания подход за решаване на поставените задачи.

Логично продължение на моделирането и идентификацията е разработването и изследването на класически PID, размит Fuzzy и адаптивен Fuzzy-PID регулатор, както и синтезът на робастен H_∞ регулатор. Сравнителното изследване на различните стратегии за управление чрез количествени показатели за качеството на преходните процеси дава възможност да се оцени ефективността на предложените решения и степента, в която те изпълняват поставената цел. В частност, получените резултати показват различия във времето на установяване и пререгулирането при PID, Fuzzy-PID и Fuzzy управление, което позволява обективното им съпоставяне.

В обобщение считам, че използваните теоретични, симулационни и експериментални методи са подходящо подбрани, взаимно свързани и съответстват на характера на изследвания обект, поставената цел и формулираните задачи на дисертационния труд. Тяхното комплексно приложение създава необходимата методична основа за получаване и обосноваване на представените в дисертацията резултати.

5. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд

Материалът, върху който се основават приносите на дисертационния труд, има теоретичен, симулационен и експериментален характер. Изследванията са проведени последователно - от разработването на математичен модел на електрохидравличната следяща система с ротационен изпълнителен механизъм, през неговото симулационно изследване и експериментална проверка, до идентификацията на параметрите и разработването на различни стратегии за управление. Тази последователност осигурява необходимата връзка между теоретичните постановки и получените практически резултати.

Съществено значение за достоверността на материала имат проведените експериментални изследвания върху лабораторната електрохидравлична система. Изследвани са преходните процеси както в отворена, така и в затворена система, по задаващо и по смущаващо въздействие, като получените експериментални данни

впоследствие са използвани и при идентификацията на параметрите на математичния модел.

Особено положително следва да се оцени извършената параметрична идентификация и последващата верификация на модела. Представеното в дисертацията сравнение между експерименталните и симулационните преходни характеристики показва много добро съответствие, а анализът на грешките потвърждава способността на идентифицирания модел да възпроизвежда както изменението на ъгловата скорост, така и динамиката на хидравличните налягания. Изследвана е и устойчивостта на идентификационната процедура при наличие на шум, което допълнително подкрепя достоверността на получените резултати.

Върху така разработения и верифициран модел са проведени изследванията на различните алгоритми за управление. Получените резултати са оценени чрез количествени показатели на преходните процеси, което позволява обективно сравнение между класическия PID, размития и адаптивния Fuzzy-PID регулатор. Например представените резултати показват намаляване на времето на установяване и пререгулирането при използването на интелигентните алгоритми спрямо класическото PID управление.

Въз основа на характера, обема и начина на получаване и обработване на представения материал считам, че резултатите, върху които се изграждат приносите на дисертационния труд, са достатъчно обосновани и достоверни. Съчетаването на математично моделиране, симулационни и експериментални изследвания, параметрична идентификация и сравнителен анализ създава надеждна основа за формулираните научно-приложни и приложни приноси.

6. Научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд

Посочените от автора приноси в дисертационния труд са коректно формулирани и отразяват основните резултати от проведеното изследване. С оглед на по-ясното им систематизиране и в съответствие с общоприетите методически категории за класификация на научните резултати, приемам приносите на дисертационния труд да бъдат формулирани и групирани по следния начин.

А. Научно-приложни приноси

A1. Създаване на нови класификации, методи, конструкции, технологии:

1. Разработени са нелинеен и линеаризиран математични модели на електрохидравлична следяща система с ротационен изпълнителен механизъм, приложими при анализ и синтез на системи за управление в условия на нелинейности и променливо натоварване.
2. Разработена е методика за параметрична идентификация на електрохидравлична следяща система, базирана на експериментални данни и приложима при различни режими на натоварване.
3. Синтезирани са размит (Fuzzy), адаптивен Fuzzy-PID и робастен H_{∞} регулатори за електрохидравлична следяща система, осигуряващи подобрени динамични характеристики и повишена устойчивост към външни смущения.

4. Предложена е структура на адаптивно интелигентно управление с автоматична настройка на параметрите на регулатора в зависимост от текущото състояние на системата.

Б. Приложни приноси

Б1. Създаване на нови класификации, методи, конструкции, технологии:

1. Разработена е апаратно-програмна система за управление и експериментално изследване на електрохидравлична следяща система в среда MATLAB/Simulink, работеща в режим на реално време.
2. Разработени и експериментално изследвани са модели на натоварващи подсистеми, реализирани чрез пропорционален предпазен клапан и регулируем дросел.

Б2. Получаване на потвърдителни факти

3. Експериментално е потвърдено подобряване на динамичните характеристики на системата при използване на интелигентни регулатори чрез намаляване на пререгулирането, съкращаване на преходните процеси и повишаване на устойчивостта към смущения.

Посочените научно-приложни и приложни приноси са достатъчни по обем и значимост и отговарят на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „доктор“.

7. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите

Оценката ми за степента на личното участие на докторанта се основава на представените по процедурата материали. Не разполагам с данни, които да поставят под съмнение авторството на представените резултати и приноси, поради което приемам, че те са получени с неговото съществено участие.

8. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Резултатите от дисертационния труд са представени в **седем публикации**, четири от които са индексирани в базата данни Scopus. Публикационната дейност е тематично свързана с основните направления на дисертационното изследване и отразява последователни етапи от неговото развитие – математично и симулационно моделиране на електрохидравличната следяща система, експериментални изследвания, параметрична идентификация, синтез и настройка на регулатори и изследване на системата при различни работни режими.

Представените публикации имат теоретичен, симулационен и експериментален характер и отразяват съществени резултати, включени в дисертационния труд. В тях са разгледани въпроси, свързани с моделирането и идентификацията на електрохидравлични следящи системи, изследването на техните динамични характеристики, параметричната оптимизация и синтеза на различни алгоритми за управление. Това показва непосредствена връзка между публикационната дейност на докторанта и основните задачи, решавани в дисертацията.

Положително следва да се оцени обстоятелството, че публикациите не са концентрирани върху отделен частен резултат, а обхващат значителна част от проблематиката на дисертационния труд. По този начин получените научно-приложни и

приложни резултати са представени и апробирани пред научната общност. Наличието на четири публикации, индексирани в Scopus, свидетелства и за международната видимост на част от проведените изследвания.

Докторантът участва както в самостоятелни, така и в колективни публикации, което дава основание положително да се оцени неговата публикационна активност по тематиката на дисертацията.

Въз основа на извършения преглед считам, че броят, тематичната насоченост и съдържанието на представените публикации съответстват на характера на дисертационния труд и отразяват в достатъчна степен получените резултати. Публикационната дейност оценявам положително и като достатъчна за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „доктор“.

9. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика

Резултатите от дисертационния труд имат потенциал за използване както в научноизследователската дейност, така и при решаването на практически задачи, свързани с анализа, моделирането и управлението на електрохидравлични задвижващи системи. Разработените математични модели и методиката за параметрична идентификация могат да бъдат използвани при изследване на динамичните характеристики на подобен клас системи, както и при определяне и уточняване на техните параметри въз основа на експериментални данни.

Предложените подходи за размито, адаптивно Fuzzy-PID и робастно H_{∞} управление разширяват възможностите за изследване и синтез на електрохидравлични системи, работещи при променливи режими, параметрични изменения и външни смущения. Практическа приложимост имат и разработената апаратно-програмна система за експериментални изследвания и управление в реално време, както и реализираните натоварващи подсистеми, които позволяват възпроизвеждане и изследване на различни режими на натоварване.

Получените резултати могат да намерят приложение и в учебния процес при подготовката на студенти и докторанти в областта на хидравличните задвижващи системи, автоматичното управление, математичното моделиране и идентификацията на динамични системи.

Считам, че разработените в дисертационния труд модели, методики, алгоритми и експериментални средства създават предпоставки за тяхното последващо използване и развитие при научни изследвания и при решаване на практически задачи в областта на електрохидравличните задвижващи и управляващи системи.

10. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му

Авторефератът е разработен в обем от 45 страници и отразява адекватно структурата, съдържанието и основните резултати на дисертационния труд. В него са представени в синтезиран вид актуалността, целта и задачите на изследването, основните теоретични и експериментални резултати, както и формулираните научно-приложни и приложни приноси. Представен е и списък на публикациите по дисертацията. Считам, че

авторефератът дава достатъчно пълна и обективна представа за извършената работа и отговаря на изискванията за неговото изготвяне.

11. Мнения, препоръки и бележки

Тъй като бях рецензент и при предварителното обсъждане на дисертационния труд, имам възможност да проследя в каква степен направените тогава бележки и препоръки са отразени в окончателния му вариант. Считам, че по-голямата част от тях са взети предвид и са намерили подходящо отражение в представения дисертационен труд, което оценявам положително.

Като препоръка за бъдещото развитие на изследванията бих посочил необходимостта от по-задълбочено отчитане на метрологичните характеристики на използваните измервателни средства и на статистическите свойства на получаваната от тях информация. При експерименталното изследване и параметричната идентификация е важно да се оценява не само чувствителността на изходните величини към идентифицираните параметри, но и надеждността на измервателната информация, дисперсиите на грешките в отделните измервателни канали и възможните зависимости между тези грешки.

Това се отнася преди всичко до анализа чрез матрицата на информацията на Фишер (раздел 4.3.10) и представената във връзка с нея граница на Крамер-Рао. В теоретичната постановка коректно е предвидено отчитането на ковариационната матрица на измервателния шум, чрез която се отчитат неговите статистически характеристики при оценяване на информацията, съдържаща се в експерименталните данни, макар да е некоректно позиционирана в математическия запис. В представената числена реализация обаче влиянието на тази ковариационна матрица практически отпада и анализът се извършва при опростено предположение за измервателния шум. Поради това не се отчита в достатъчна степен действителната статистическа надеждност на използваната измервателна информация. Допускането за бял гаусов шум само по себе си не е достатъчно основание за подобно опростяване, тъй като не елиминира необходимостта от отчитане на дисперсията на измервателния шум. Заедно с това, въпреки че е въведена границата на Крамер-Рао, анализът не е развит до количествени оценки на дисперсиите или стандартните отклонения на оценените параметри и на взаимните зависимости между тях. Допълнително методично уточнение изисква и обстоятелството, че численото определяне на матрицата на информацията на Фишер е извършено върху опростен модел, а не непосредствено върху пълния идентифициран модел на електрохидравличната система. Препоръчвам при бъдещо развитие на изследванията тези метрологични и статистически аспекти да бъдат отчетени по-пълно, което би позволило по-обоснована оценка на надеждността на резултатите от параметричната идентификация.

Направената препоръка не намалява стойността на дисертационния труд и постигнатите в него резултати, а очертава възможност за тяхното последващо развитие и методологично прецизиране.

12. Заключение

По мое мнение дисертацията представлява напълно завършен научен труд.

Материалът е добре структуриран, ясно и прегледно изложен.

В заключение мога да отбележа, че дисертационният труд напълно отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за неговото прилагане. Във връзка с гореизложеното предлагам на почитаемото Научно жури да присъди на **маг. инж. Красен Иванов Костов** образователната и научна степен **"Доктор"** в професионално направление **„5.1 Машинно инженерство“** и научна специалност **„Хидравлични и пневматични задвижващи системи“**.

17.08.2026 г.

Рецензент:

/проф. дн инж. Димитър Дичев/