

67-72-12/1  
25.01.16

Вченому секретареві  
спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10  
у Національному університеті  
«Львівська політехніка»  
проф. Бондареву А.П.

79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Мащака Андрія Володимировича «Моделі для оцінки ризику експлуатації системи радіоуправління безпілотним літальним апаратом», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

### 1. Актуальність теми

1.1 При проектуванні радіоелектронних систем відповідального призначення (РСВП), до яких відносяться засоби і системи авіаційних та космічних комплексів, медичного обладнання та відповідних інфраструктур, роботизованих автономних комплексів та інш, однією з важливих задач є забезпечення вимог до надійності і функціональної безпечності. Для її розв'язання необхідно мати моделі РСВП, з відповідним рівнем деталізації структури і надійнісної поведінки системи. Це, у свою чергу, потребує удосконалення методів побудови моделей та засобів автоматизації, оскільки для досягнення заданого рівня надійності та функціональної безпечності потрібно розглядати багато варіантів реалізації РСВП в обмежені терміни та з гарантованою точністю.

Відсутність таких методів призводить до використання спрощених або не підтриманих формальними процедурами розроблення моделей поведінки системи в умовах відмов внаслідок різних дефектів (фізичних, проектних, взаємодії). Тому, існує ризик отримання неточних/недостовірних оцінок, що призводить або до додаткових затрат (при зниженні значень показників), або до ризиків катастрофічних відмов і аварійних ситуацій (при завищенні їх значень).

Питання функціональної безпечності та надійності РСВП, зокрема, бортових і наземних радіоелектронних і комп'ютерних засобів для комплексів БПЛА активно досліджуються українськими та зарубіжними науковцями останніми роками, але, зважаючи на лише десятилітній термін активної розробки таких систем і те, що розвиток безпілотної авіації та бортової радіоелектроніки був спрямований, перш за все, на забезпечення їх функціональності, ці напрями досліджень є вельми актуальними.

Зокрема, це стосується розроблення та дослідження: по-перше, моделей бортових навігаційно-обчислювальних систем БПЛА з врахуванням

відмовостійких конфігурацій (дубльованих і мажоритарних структур) та різних типів відмов внаслідок дефектів апаратних засобів і програмних засобів, а також процедур автоматичного перезавантаження; по-друге, засобів автоматизації етапів оцінювання надійності та безпечності таких систем. Тому тема дисертації, присвяченої розробленню моделей і методів оцінки ризику експлуатації бортової навігаційно-обчислювальної системи БПЛА є, безумовно, *актуальною з теоретичного і практичного боку.*

1.2. Відгук складено шляхом аналізу матеріалів дисертації, автореферату та публікацій автора. Крім того, основні результати досліджень (методику автоматизованого отримання мінімальних січень на основі графа станів та моделей навігаційно-обчислювальної системи безпілотного літального апарата та інш.) було представлено автором і обговорено на міжгалузевому науково-технічному семінарі «Критичні комп'ютерні технології та системи» (КриКТехС) на кафедрі комп'ютерних систем і мереж Національного аерокосмічного університету ХАІ, а також конференції міжнародній DESSERT2014, організатором і учасником яких був опонент.

## **2. Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

2.1. *У вступі та у першому розділі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано науково-прикладну задачу дисертаційної роботи, показано зв'язок роботи з науковими програмами, темами, сформульовано мету і завдання дослідження, приведено основні наукові результати дисертаційного дослідження та показано їх практичне значення. Представлено відомості про апробацію роботи та дані про особистий внесок здобувача в колективних публікаціях.

Автор зробив досить повний і детальний огляд україно-, російсько- та англійських науково-технічних публікацій за темою дисертації та проаналізував можливості математичного апарата для вирішення задач оцінювання надійності та безпечності РСВП. Слід відзначити, що список джерел включає актуальні публікації (статті, монографії, стандарти, тощо) останніх років.

Розглянуто методи оцінювання безпечності та надійності, розроблення моделей РСВП і, що важливо, зроблено ґрунтовні висновки, а саме: попри широкий спектр існуючих методів проведення оцінки безпеки РСВП, відсутні методи з високим рівнем формалізації та з можливістю автоматизації їх застосування. В більшості випадків існуючі методи покладені на інтелект розробника вимагають від нього значних затрат часу при ручній розробці моделі. Виконання ручних етапів оцінки безпечності може призвести до закладення у модель помилок. Існуючі моделі будуються шляхом огрубіння припущень, укрупнення станів, ідеалізації засобів контролю та діагностування, що знижує ступінь їх адекватності.

*Зауваження.* На нашу думку, зміст мети і завдання дисертаційних досліджень (стор. 11) слід змінити місцями: мета досліджень – зменшення

ризиків..., завдання – розроблення моделей для оцінювання .... Крім того, щодо мети (зменшення ризиків) її слід було б також відкоригувати, оскільки йдеться, перш за все, не про зменшення ризиків експлуатації, а про зменшення ризиків неточних оцінок або підвищення точності/достовірності оцінювання безпеки.

Хоча в цілому стандарти проаналізовані достатньо детально, що є позитивною відмінністю дисертації, але це не повною мірою стосується стандарту IEC61508, ключового з точки зору функціональної безпечності радіотехнічних, електронних програмовних систем, до яких належать навігаційно-обчислювальні системи БПЛА. Автор згадує про нього і посилається ([21]), але, розглядає тільки першу його частину, хоча важливими у контексті дисертації є також друга, третя, п'ята і сьома частини).

Автор не враховує наявність таких модифікацій FMECA як методика FMEDA (D – diagnostics). За її допомогою експертним чином можливо визначити ймовірність детектування різних відмов, але ця методика також має інші аналогічні вади, які достатньо коректно визначив автор для FMECA.

Дуже важливим є питання показників оцінювання ризиків експлуатації та функціональної безпечності, а також метрик точності оцінювання. На жаль, їх аналіз і обґрунтування вибору проведено недостатньо повно.

Є певні повторення у вступі щодо розкриття FMECA (стор. 7,8).

**2.2. В другому розділі** удосконалено технології моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем для можливості оцінювання функціональної безпечності. Автор використовує апробований підхід – розщеплення непрацездатного стану з урахуванням критичності відмов. Автор обґрунтовує групування непрацездатних станів за допомогою запропонованої методики, показуючи всі можливі аварійні ситуації (мінімальні січення) визначати для визначення ймовірності їх виникнення. Слід відзначити, що у традиційній методиці для визначення ймовірностей виникнення аварійних ситуацій необхідно здійснити розробку дерева відмов.

Придатність та достовірність методики до проведення дослідження ризику експлуатації РСВП було підтверджено за допомогою порівняння і співпадіння отриманих результатів з результатами, отриманими з використанням програмного засобу A.L.D. Ram Commander.

Для розроблення моделі надійності навігаційно-обчислювальної системи автор використовує декомпозицію, обґрунтовуючи це тим, що з точки зору надійності працездатність ОП не залежить від працездатності навігаційної підсистеми. Тому в дисертації здійснено розроблення надійнісних моделей для обчислювальної та навігаційної підсистем БПЛА.

Модифікувавши технологію моделювання, автор розробив нові математичні моделі двох традиційних варіантів реалізації бортової обчислювальної підсистеми (ОП) БПЛА з властивістю відмовостійкості з використанням мажоритарної структури “2 з 3” і двохкратного резервування.

Запропоновані марковські моделі підвищують достовірність оцінки функціональної безпечності ОП, оскільки враховують: особливості мажоритарної структури і відмов її мікропроцесорів; збої їх програмного

забезпечення; можливості автоматичного перезавантаження після виявлення збою; ненадійність підсистеми електроживлення (ПЕЖ) та фільтра Калмана.

*Зауваження.* Відсутнє детальне обґрунтування, чому в модель ОП включено підсистему електроживлення, оскільки вона має вплив на всю бортову систему БПЛА. Але таке включення є позитивною рисою дослідження, оскільки часто ці елементи не ураховуються при аналізі функціональних елементів. Інша річ, автору треба було б підкреслити, що такий підхід є консервативним.

Щодо недоліків, то, на нашу думку, недостатньо обґрунтованим є вибір трьохканалних структур (мажоритарної та з заміщенням), урахувуючи жорсткі габаритомасові та енергетичні обмеження. На борту БПЛА і більш потужних літальних (космічних) апаратів досить часто використовуються дубльовані системи зі самоконтролем каналів і реконфігурацією, які можуть забезпечувати більшу безвідмовність ніж мажоритарні системи (при складності засобів контролю, яка дорівнює майже половині складності одного каналу).

Таким чином, доцільно було б провести відповідний аналіз і порівняння функціональної безпечності таких варіантів структур з урахуванням складності і достовірності засобів контролю і діагностування (для оцінювання надійності такі результати відомі). Хотілося б мати і більш детальні результати дослідження впливу характеристик таких засобів на функціональну безпечність, визначення їх граничних характеристик, тощо. Без цього висновки про переваги-недоліки структур, що порівнюються, є такому загальному вигляді достатньо прогнозованими.

Крім того, автор урахує тільки ті дефекти програмного забезпечення, які толеруються шляхом його перезавантаження, але не досліджуються більш важкі випадки, коли вони не можуть бути масковані без корегування програмних засобів або використання іншої версії ПЗ.

**2.3. В третьому розділі** розроблено нові математичні моделі надійності навігаційної підсистеми (НП) БПЛА. У марковській моделі ураховано показники надійності дубльованих акселерометрів та гіроскопів, магнітометра та вимірювачів висотно-швидкісних параметрів, приймача сигналу від супутникової навігаційної системи та приймача системи зв'язку БПЛА з оператором. Враховано також функціональне резервування (супутникова навігаційна система/інерціальна навігаційна підсистема БПЛА).

*Зауваження* полягають в наступному: модель НП отримано у вигляді системи Колмогорова-Чепмена з 998 диференційних рівнянь. Така складність викликає необхідність обґрунтування точності та сталості отриманих результатів (зокрема, з урахуванням метрик жорсткості). Відповідний аналіз чутливості показників і впливу на точність різних технік інтегрування диференційних рівнянь та інструментальних засобів (комп'ютерної математики) не надано у достатньому обсязі. Було б цікаво також порівняти за показниками функціональної безпечності, крім двох досліджуваних, ще систему самонаведення за карто місцевості.

**2.4. В четвертому розділі** розроблено алгоритми автоматизації двох

трудомістких процедур методики оцінювання ризику експлуатації БПЛА, а саме визначення мінімальних січень на основі графа станів та отримання логічної функції дерева відмов. Обґрунтовано етапи такого оцінювання.

На додаток до використання розробленої структурно-автоматної моделі за допомогою програмного модуля ASNA у автоматизованому режимі формуються мінімальні січення та ймовірності їх виникнення з урахуванням умов критичної відмови. Викладення методики оцінки ризику є достатньо ґрунтовним і зрозумілим. Коректна формалізація стала підґрунтям для створення програмного забезпечення CutSetDefiner. Автоматизація двох трудомістких процедур оцінювання ризику експлуатації навігаційно-обчислювальної системи БПЛА забезпечила можливість за короткий час проаналізувати багато варіантів реалізації НП і ОП для зниження ризику.

*Зауваження.* Незрозуміло, яким чином отримується масив непрацездатних станів – вручну чи за допомогою розробленого програмного засобу. Фактично, розроблення графу станів здійснюється шляхом аналізу списку подій, але можливий інший підхід – на основі визначення переліку станів. Відповідна аргументація, на наш погляд, не є повною.

**2.5. В п'ятому розділі** описано принципи і приклад застосування запропонованої методики отримання мінімальних січень з використанням програмного засобу CutSetDefiner.

Згідно зі стандартами ГОСТ 27.310-95 та MIL-STD-882E виконано аналіз видів критичних відмов та їх наслідків. Для навігаційно-обчислювальної системи проаналізовано відмови окремих модулів та класифіковано наслідки їх відмов. Важливо, що в результаті проведення оцінки ризику експлуатації подано рекомендації щодо зниження ризику та проілюстровано, яким чином може бути досягнуто його припустимий рівень.

*Зауваження.* Цікаво було б дослідити ще декілька варіантів реалізації навігаційної та обчислювальної підсистем БПЛА для зниження ризику експлуатації за допомогою цієї методики, а також чітко визначити, яким чином і на яку величину збільшується точність або достовірність оцінювання.

**2.6.** Обґрунтованість теоретичних результатів, отриманих у розділах дисертації, базується на коректному використанні теорії надійності складних систем, теорії випадкових процесів, теорії системотехнічного проектування радіоелектронних інформаційних систем. Розроблення моделей обчислювальної та навігаційної підсистем здійснено з використанням удосконаленої технології аналітичного моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем, в якій використано метод формалізованого представлення об'єктів дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі та метод побудови графа станів і переходів на її основі.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

**3.1.** *Новими та найбільш значущими* є наступні положення дисертації:

– дістав подальший розвиток метод формалізованого представлення об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі шляхом

виокремлення всіх можливих непрацездатних та критичних станів складної радіоелектронної системи, визначення на цій підставі мінімальних січень без побудови дерева відмов, що дозволило підвищити адекватність моделі та точність оцінювання показників функціональної безпечності, зокрема, ймовірності виникнення аварійної ситуації;

– вперше розроблено математичну модель функціональної безпечності навігаційної підсистеми БПЛА, яка на відміну від відомих ураховує показники безвідмовності дубльованих акселерометрів і гіроскопів, магнітометра та вимірювачів повітряно-швидкісних параметрів та функціональне резервування навігаційної системи, що забезпечує підвищення достовірності оцінки ризику експлуатації системи радіоуправління БПЛА;

– удосконалено математичні моделі функціональної безпечності варіантів резервованої обчислювальної підсистеми БПЛА, шляхом урахування особливостей відмов і збоїв апаратних і програмних засобів і автоматичного перезавантаження мікропроцесорів після виявлення збою, а також ненадійності підсистеми електроживлення, що дало змогу підвищити достовірність оцінки ризику експлуатації.

3.2. Формулювання наукової новизни результатів досліджень фактично збігаються за сутністю з формулюванням автора, але дещо змінено стилістику та аргументування новизни. Означені результати є внеском у розвиток теорії надійності та безпечності радіотехнічних систем відповідального призначення.

#### **4. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Результати дисертації відповідають науковому напрямку «Теорія і методи проектування радіоелектронних кіл, систем і комплексів та забезпечення їх якості» та тематиці досліджень кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка» і безпосередньо пов'язані з науково-дослідними проектами, які виконувались на замовлення Міністерства освіти і науки України, а саме:

- «Розроблення моделей, методів та алгоритмів для автоматизованої оцінки показників надійності радіоелектронних та електромеханічних пристроїв та систем», № 0110U001098 (2010–2012);

- «Розроблення моделей надійності, ризику та безпечності програмно-апаратних технічних систем», № 0113U001371 (2013-2014);

В перелічених науково-дослідних роботах автор був виконавцем досліджень відповідно до результатів дисертації.

#### **5. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Достовірність отриманих теоретичних результатів дисертації підтверджується:

- співпадінням значень мінімальних січень для тестової відмовостійкої системи, отриманих за допомогою дерева відмов з використанням програмного засобу RAM Commander і за допомогою графа станів і переходів з розщепленим



станом відмови з використанням програмних засобів ASNA та CutSetDefiner;

- результатами практичного використання запропонованих моделей, методу та програмних засобів при розробленні варіантів побудови і резервування відповідних систем БПЛА, оцінюванні їх надійності та функціональної безпечності.

## **6. Практична цінність одержаних результатів**

6.1. Практичну цінність роботи складає *методика визначення кількісних показників ризику обчислювальної та навігаційної підсистем БПЛА у вигляді мінімальних січень*, яка дозволяє вирішувати задачі зменшення рівня ризику для бортових систем при заданому рівні надійності на етапі їх системотехнічного проектування. На основі запропонованої методики розроблено алгоритм та прототип програмного засобу, який автоматизує певні етапи їх отримання.

Крім того, розроблена *методика та програмний засіб побудови дерева відмов на основі мінімальних січень*. Це дозволяє візуалізувати процес потрапляння навігаційно-обчислювальної системи у аварійний стан при моделюванні і суттєво спрощує прийняття рішень для забезпечення необхідного рівня безпечності. Слід зауважити, що дерево відмов є обов'язковим атрибутом при здійсненні сертифікації на безпечність.

6.2. Підтвердженням практичного значення роботи є впровадження наукових результатів: у науково-дослідній роботі за шифром «Дрон» інв. №17-13 НОВ у Науковому центрі Національної Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного.; ТОВ «Сілего Технолоджі (Україна)»; двох держбюджетних НДР (див. п.4).

## **7. Зміст і обсяг дисертації та автореферату. Повнота викладу в наукових виданнях**

7.1. *Дисертаційну роботу викладено на 156 сторінках, з них 113 сторінок основного тексту, 12 рисунків та 21 таблиця. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку літератури з 165 найменувань та 2 додатків. Автореферат на 20 сторінках оформлений відповідно з вимогами до авторефератів кандидатських дисертацій.*

*Автореферат дисертації цілком відображає основні результати роботи та за змістом і формою відповідає вимогам, що пред'являються до автореферату кандидатської дисертації.*

7.2. *Основні результати дисертації опубліковано у 17 наукових працях (6 з яких видані у збірниках, що включені до списку фахових видань України), включаючи англомовні. У статтях представлено основні наукові результати, відсутні повторювання та, як і в дисертаційній роботі, не застосовано результати інших авторів без відповідних посилань.*

Основні положення дисертації обговорювалися на міжнародних і Всеукраїнських НТК та семінарах, підтвердженням цього є відповідно 7 і 4 публікації в збірниках їх наукових праць. Це вказує на достатній рівень апробації

результатів роботи та визнання досягнень дисертанта провідними фахівцями галузі.

## **8. Области можливого використання результатів дисертації та рекомендації щодо подальших досліджень**

8.1. *Результати досліджень доцільно рекомендувати* до використання у організаціях-розробниках безпілотних літальних апаратів та їх систем для забезпечення необхідного рівня надійності та безпеки систем навігації, інформаційно-керуючих систем, і т.п.

Зокрема, вони можуть бути впроваджені при розробленні безпілотних літальних систем у відповідних конструкторських бюро (КБ ХАІ-Авіа, Uavia, "Віраж" та інш.), а також застосовані для визначення і корегування вимог до ТТХ військового та цивільного призначення.

Крім того, частину результатів доцільно використовувати у більш широкому сенсі, при розробленні бортових радіоелектронних системах, системах космічного зондування, зв'язку (НДІ радіовимірювань, НДІ технології приладобудування, НВП Харторон-Аркос, Харків), а також при удосконаленні елементів деяких методик оцінювання експлуатаційної (функціональної) безпечності систем критичного використання, зокрема, інформаційно-керуючих систем АЕС (НВП Радій, Кіровоград; НВП Імпульс, Сєвєродонецьк) та інш. Результати доцільно також використовувати на кафедрах університетів, що готують магістрів за напрямками «Радіотехніка», «Комп'ютерна інженерія», «Телекомунікації».

8.2. Подальші дослідження доцільно зосередити на:

- відпрацювання варіантів комплексування різних методик, включаючи FMESA/FMEDA, FTA, HAZOP та їх модифікацій;
- розробленні варіанти структур і відповідних моделей готовності та безпечності для флотів БПЛА, які взаємодіють з використанням хмарних технологій та Інтернету речей;
- дослідженні масштабованих рішень з урахуванням факторів кібербезпеки, різних стратегій і параметрів обслуговування, можливостей багатоступеневої деградації тощо.

## **9. Мова, термінологія та стиль дисертації і автореферату**

9.1. У дисертації і авторефераті основні положення, результати і висновки сформульовані коректно і зрозуміло. Текст дисертації логічно структурований і оформлений за діючими правилами за виключенням незначних синтаксичних помилок. Графічний матеріал в повній мірі доповнює зміст роботи. Автореферат об'єктивно відображає основні результати дисертації.

9.2. Автор в цілому коректно використовує наукову термінологію і термінологію, яка сформувалася у предметній області. Зокрема, використання термінів «ризик експлуатації», та ін. є, на нашу думку, цілком слушним, оскільки дозволяє більш гнучко і компактно викладати результати. Можливо, було б доцільно дуже стисло співвіднести їх з глосаріями діючих стандартів.



## 10. Недоліки та зауваження

10.1. *Частину недоліків і зауважень* до розділів подано у п. 2. Крім того, слід відмітити, що:

- тему дисертації сформульовано як «Моделі для оцінки ризику експлуатації системи радіоуправління безпілотним літальним апаратом». На наш погляд, друга половина назви («... системи радіоуправління безпілотним літальним апаратом»), надто загальна оскільки автор розглядає навігаційно-обчислювальну систему, котра є складовою системи радіоуправління БПЛА. З іншого боку, назва дещо спрощена у першій частині («Моделі ...»), оскільки у дисертації фактично йдеться не лише про розробку нових та удосконалення існуючих моделей навігаційно-обчислювальної системи БПЛА, а й про удосконалення методу оцінювання ризику їх експлуатації;

- формулювання науково-прикладного завдання у вступі і висновках не є тотожним; є недолік визначення мети досліджень (зазначено детально у п.2.1);

- автором сформульовано і використано термін «бінарна структурно-автоматна модель». Однак розроблені моделі є частково бінарними. У подальших дослідженнях потрібно більш чітко визначати, в чому саме полягає бінарність таких моделей; було б доцільно також співвіднести з глосаріями діючих стандартів термін «ймовірність виникнення мінімального січення»;

- у дисертації використовується стандартне англomовне скорочення FMESA (існує україно- і російськомовне скорочення АВНКО або АВПКО у відповідних стандартах), а для методики аналізу дерев відмов – скорочення ДВ (у англomовному варіанті – FTA, Fault Tree Analysis), тобто є певне змішування стилів. Більшої уваги заслуговує огляд аспектів комплексування цих та інших методик оцінювання.

10.3. *Зазначені недоліки та зауваження* не впливають принципово на якість дисертаційного дослідження і кінцеві висновки. Питома частка їх може бути віднесена до напрямів подальших досліджень і розробок.

## 11. Висновки

11.1. Представлена дисертація є завершеною роботою, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати. У роботі розв'язано науково-прикладне завдання розроблення моделей, методу і засобів для підвищення достовірності оцінювання ризику експлуатації системи радіоуправління БПЛА.

11.2. Одержані наукові та практичні результати є внеском у методи системотехнічного надійнісного проектування радіотехнічних систем відповідального призначення, зокрема, бортової навігаційно-обчислювальної системи БПЛА, та свідчать про високий професійний рівень дисертанта. Зміст роботи відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи, а саме таким його пунктам:

- розроблення методів автоматизації схемотехнічного проектування та комп'ютерного моделювання радіотехнічних і телевізійних вузлів та пристроїв;
- розроблення методів і приладів вимірювання параметрів радіотехнічних і

контролю і прогнозування їх технічного стану.

Результати дисертаційних досліджень опубліковані та апробовані згідно з кваліфікаційними вимогами ДАК МОН України. Робота цілком відповідає вимогам пунктів 12, 13 та 14 Положення про «Порядок присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

11.3. Вважаю, що дисертаційна робота Мащак Андрія Володимировича «Моделі для оцінки ризику експлуатації системи радіоуправління безпілотним літальним апаратом» *цілком відповідає* вимогам, що пред'являються до кандидатських дисертацій, а її автор *заслуговує* на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент - завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут» заслужений винахідник України  
доктор технічних наук, професор

В.С. Харченко

19 січня 2016 р.

Підпис Харченка Вячеслава Сергійовича засвідчую  
Вчений секретар Вченої ради Національного аерокосмічного університету ім.  
М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,  
кандидат технічних наук, професор

Т.П. Цепляева

