

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Батракова Олексія Борисовича «Радіаційно-пучковий технологічний комплекс на базі імпульсних сильнотимових прискорювачів релятивістських електронних пучків», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.04.20 – «фізика пучків заряджених частинок»

Актуальність обраної теми

Сучасний рівень розвитку прискорювальної техніки дозволяє використовувати її для вирішення завдань в області тестування конструкційних матеріалів, стійких до радіаційного навантаження. Застосування гальмівного рентгенівського випромінювання (ГРВ) визначається жорсткістю, яка залежить від енергії електронів, що гальмуються у мішені. Крім жорсткості, в більшості прикладних досліджень потрібна певна поглинена доза випромінювання і швидкість наростання її на об'єкті дослідження. Поглинена доза не повинна спричиняти наведеної активності. Вирішення такої науково-технічної задачі можливо завдяки використанню імпульсних сильнотимових прискорювачів РЕП. На існуючих генераторах ГРВ виникає необхідність в збільшенні інтенсивності виходу ГРВ. Зростання інтенсивності імпульсу ГРВ при незмінному енергетичному запасі реалізується завдяки збільшенню потужності РЕП та удосконаленню конструкції генератора ГРВ. Виникає необхідність розробити метод, що дозволить збільшити потужність існуючих радіаційно - пучкових комплексів, не змінюючи їх енергетичний запас. Саме цим і обумовлено актуальність та доцільність проведення дисертаційного дослідження.

Наукові результати, що представлено у дисертації, сприяють вирішенню завдань, сформульованих у державних документах і галузевих програмах, зокрема, в «Енергетичній стратегії України на період до 2030 року». Дисертаційна робота виконувалася відповідно до планів науково-дослідних робіт і програм ННЦ «ХФТІ» в рамках тем: «Програма проведення фундаментальних досліджень з ядерних матеріалів та радіаційних технологій», № д/р 080901UP0009; «Програма проведення фундаментальних досліджень з ядерних матеріалів та радіаційних технологій», № д/р 080999UP0009; «Програма фундаментальних досліджень по атомній науці і техніці ННЦ ХФТІ на 2011–2015 роки», № д/р 0111U009554.

Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Дослідження спираються на добре відомі та широко апробовані методи, що використовуються в фізиці, електродинаміці, фізиці пучків заряджених частинок. Викладені в дисертації експериментальні результати одержано з використанням діагностичних методів, достовірність яких не викликає сумніву. Автор добре усвідомлює переваги та недоліки кожного з

методів і вдало поєднує їх у ході експериментів. Де це можливо, експериментальні вимірювання дубльовані з різних методів та методик.

Теоретичні дослідження базуються на числових методах аналізу траєкторій руху електронів з використанням відомих числових кодів. Розрахунки, добре узгоджуються з аналітичними висновками і результатами експерименту.

Все це свідчить про те, що наукові положення дисертації, її висновки та рекомендації є обґрунтованими та достовірними.

Ступінь новизни отриманих результатів

Основні нові результати та висновки, що їх отримано в дисертаційній роботі, полягають в наступному.

1. Запропоновано новий підхід до збільшення потужності концентрованих потоків енергії та гальмівного рентгенівського випромінювання на прискорювачах РЕП при незмінному енергетичному запасі, що полягає у: виявленні закономірностей впливу комплексного застосування розроблених конструкцій елементів вакуумного діоду в області формування та транспортування РЕП, застосуванні комбінованої магнітної системи з підвищеною до $1,7 \cdot 10^6$ А/м напруженістю магнітного поля, використанні безмасляної криогенної вакуумної системи з робочим тиском залишкових газів у вакуумному діоді прискорювача на рівні $1 \cdot 10^{-4}$ Па, розробленої конструкції генератора ГРВ та в створенні на цій основі комплексного методу підвищення їх параметрів.

Це дозволило створити потужний радіаційно-пучковий технологічний комплекс, який дає можливість опромінювати концентрованими потоками електронів (РЕП) з енергією до 0,75 MeV та струмом до 21 кА, а також потужним ГРВ з максимальною експозиційною дозою в 9100 Р та енергією квантів ГРВ до 0,75 MeV за імпульс без створення наведеної активності на зразках.

2. Вперше розроблено магнітну систему з основними і коригувальними секціями, що працює з керованою частотою проходження імпульсів без використання накопичувачів, розрядників, трансформаторів, баластних опорів та транспортує РЕП до місця взаємодії.

3. Вперше реалізовано криогенний безмасляний режим роботи вакуумної системи прискорювача РЕП «Темп-Б», який дозволив збільшити потужність РЕП та його тривалість до 1,5 мкс за рахунок використання розробленого та запатентованого автором дисертації криогенного конденсаційно-адсорбційного насосу.

4. Показано експериментально, що дозу ГРВ можна збільшити на 70% використовуючи трубчастий, а не суцільний РЕП. Вперше отримано просторово-кутовий розподіл інтенсивності ГРВ від РЕП трубчастої геометрії з $E_n \approx 750$ кеВ і $I_n \approx 21,5$ кА з корисною площею опромінення $S \approx 700$ мм².

Значимість роботи для науки та практики

Результати дисертації можуть бути використані у фундаментальних і прикладних дослідженнях, які спрямовані на застосування в імітаційних експериментах з опромінення зразків нових конструкційних матеріалів в різних установах, як в Україні, так і за кордоном.

Особливо варто відмітити:

1. Результати, що представлені в дисертації, використані при створенні сильнострумowego радіаційно-пучкового технологічного комплексу для дослідження процесів взаємодії потужного ГРВ з конструкційними матеріалами стійкими до радіаційного навантаження. Розширено можливості діючих прискорювачів, що дає можливість використовувати їх для вирішення таких технологічних завдань, як модифікація поверхневих властивостей матеріалів, пошук дефектів в металевих конструкціях, у медичній фізиці.

2. Створена магнітна система дозволяє вивести РЕП до місця взаємодії. Розроблено джерело живлення магнітного поля, що працює без використання накопичувачів, розрядників, трансформаторів і баластних опорів, що дозволило зменшити розміри магнітної системи.

3. Розроблена безмасляна кріогенна вакуумна система, що дозволяє отримувати робочий тиск на рівні $P = 1 \cdot 10^{-4}$ Па.

4. Розроблена система синхронізації з гальванічною розв'язкою, що забезпечує захист від впливу контурних струмів та дозволяє керувати прискорювачем і отримувати результати досліджень без впливу електромагнітних перешкод, що може бути використано на ядерно-фізичних опромінюючих установках.

5. Розроблено вакуумні рентгенівські канали з комбінованими конвертерами зі збільшеним терміном служби.

6. В Інституті фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій ННЦ «ХФТІ» були використані імпульсні сильнострумові прискорювачі РЕП, як експериментально-дослідна база, при виконанні проектів № X-815 «Експериментальне та теоретичне дослідження ядерних матеріалів з нано- і квазікристалічною структурою на основі перехідних металів Ti, Zr, Hf, Ni під впливом потужного імпульсного гальмівного рентгенівського випромінювання» і проекту № X-5-527 «Дослідження змін структури і властивостей конструкційних матеріалів ядерних реакторів під дією імпульсних пучків електронів і рентгенівського випромінювання великої потужності» Акт про впровадження матеріалів дисертації наведено.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертації викладено у 16 наукових працях, що задовольняють вимогам ДАК МОН України до публікацій, на яких ґрунтується дисертаційна робота. Аналіз представлених публікацій дає підставу стверджувати, що всі основні положення дисертації в повній мірі опубліковано й апробовано на конференціях. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації

Робота не позбавлена деяких недоліків.

1. Однією з цілей роботи є розробка комплексного методу збільшення потужності РЕП та ГРВ при незмінному енергетичному запасі. В дисертаційній роботі відсутні дані на скільки вдалося підвищити характеристики діючих прискорювачів за рахунок проведених теоретичних і експериментальних досліджень та розробок.

2. З тексту дисертаційної роботи не зовсім зрозуміло яким чином вдається вимірювати струм в соленоїдах до 1000 кА за допомогою розробленої методики з використанням датчика Холла з межами вимірювань ± 200 А.

3. Поряд з системною одиницею дози опромінення (Гр) застосовується несистемна одиниця (рад). Також у підрозділі 2.2.4 дані про температуру потрібно було наводити у Кельвінах.

4. Положення новизни у другому і шостому пунктах більш відображають практичне значення роботи.

5. Другий розділ можна було б розділити на два розділи.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

Відповідність встановленим вимогам до кандидатських дисертацій.

Дисертаційна робота розв'язує важливу науково-технічну задачу, суть якої полягає в розробці комплексного методу збільшення потужності концентрованих потоків енергії та гальмівного рентгенівського випромінювання на прискорювачах РЕП при незмінному енергетичному запасі. Це надало можливість створити потужний радіаційно-пучковий технологічний комплекс, який дає можливість опромінювати, як концентрованими потоками енергії, так і потужним ГРВ.

Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертаційних робіт. Мова та стиль подання матеріалу зрозумілий, речення логічно побудовані, мають смислову завершеність, цілісність і зв'язність. Зміст дисертації послідовно відображає постановку теоретичних задач і експериментів, методи їх вирішення та інтерпретацію отриманих результатів. Тому дисертація є цілісною завершеною роботою.

На підставі вище викладеного можна стверджувати, що робота О.Б. Батракова «Радіаційно-пучковий технологічний комплекс на базі імпульсних сильнострумових прискорювачів релятивістських електронних пучків» за актуальністю, ступенем новизни, значимістю для науки і практики, а також за структурою і об'ємом відповідає вимогам законодавства, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», та свідчить про високий науковий рівень автора, який заслуговує присвоєння йому

наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.04.20 – «фізика пучків заряджених частинок».

В. о. завідувача відділу фізики пучків заряджених частинок
Інституту прикладної фізики НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор



О.Г. Пономарьов

Підпис Пономарьова О.Г.
доктора фізико-математичних наук, професора,
в.о. завідувача відділу Фізики пучків заряджених частинок **завіряю.**
Вчений секретар
Інституту прикладної фізики НАН України
кандидат фізико-математичних наук



О.І. Ворошило