

**БАГАТОКАНАЛЬНІ ІНДУКЦІЙНІ ПРИСКОРЮВАЧІ - НОВИЙ КЛАС
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ КОМЕРЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.
БАГАТОКАНАЛЬНІ ЛІНІЙНІ ПРИСКОРЮВАЧІ**

В.В. Куліш,* д-р фіз.-мат. наук, професор;

І.В. Губанів, канд. фіз.-мат. наук, доцент; В.М. Крижановський,* студент**

**Сумський державний університет*

***Національний авіаційний університет*

Дана стаття є третьою частиною роботи, дві попередні з яких представлені статтями [1,2]. В першій з них дано загальну характеристику багатоканальним індукційним прискорювачам (БІП) як новому класу пристроїв, описано їх ключову елементну базу та проаналізовано комерційні перспективи БІП на сучасному ринку технологічних прискорювачів. У роботі [2] продовжено розгляд, розпочатий в [1], а саме, проведено детальну класифікацію основних схемних модифікацій БІП, а також описані базові ідеї. Дану, третю, частину присвячено опису типових прикладів базових конструктивних схем багатоканальних лінійних індукційних прискорювачів (БЛІП).

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Характерною ознакою багатоканальних лінійних індукційних прискорювачів (БЛІП) [3-6] (див. класифікацію, запропоновану в роботі [2]) є перш за все лінійна форма каналів транспортування пучків заряджених частинок [2]. Принциповою відмінністю від традиційних лінійних індукційних прискорювачів (ЛІП) [1,2,7] є наявність більше ніж одного паралельних лінійних прискорювальних каналів (*багатоканальність*) і відповідно можливість одночасного прискорення більше ніж одного електронного пучка (*багатопучковість*). Іншою їх характерною особливістю є ондуляторна схема включення систем живлення індукторів прискорювальних блоків. Завдяки цьому електричне поле у кожній парі сусідніх каналів виявляється спрямованим взаємно протилежно.

Багатопучковість дозволяє вирішити проблему досягнення рекордних значень вихідного (сумарного) струму пучків при збереженні докритичності рівнів струму самих парціальних пучків у лінійних каналах. Крім того, при цьому відкривається можливість значного збільшення як пікової (миттєвої), так і середньої потужностей прискорювача. Ондуляторний характер прискорювальних полів, у цілому, дозволяє значно послабити гостроту проблеми електромагнітної сумісності. Цього вдається досягти перш за все завдяки реалізації ефекту взаємної компенсації зовнішніх полів (більш детально дивись, наприклад, в [2])

Згідно з класифікацією, поданою в роботі [2], можливо кілька конструктивних варіантів реалізації багатопучковості в БЛІП. Відповідно в [3-6] було запропоновано чотири типи БЛІП:

- 1 БЛІП на базі одноканальних лінійних прискорювальних блоків [3-5].
- 2 БЛІП із внутрішньою багатоканальністю [6].
- 3 БЛІП із зовнішньою багатоканальністю [6].
- 4 БЛІП із комбінованою багатоканальністю [6].

Далі коротко обговоримо особливості типових конструктивних схем названих типів БЛІП.

2 БЛПП НА БАЗІ ОДНОКАНАЛЬНИХ ПРИСКОРЮВАЛЬНИХ БЛОКІВ

2.1 Тригерні режими та проблема електромагнітної сумісності

У плані загального компонування системи запропоновано дві принципово відмінних конструктивні версії таких БЛПП. У першій із них кількість каналів збігається із кількістю пучків. Відповідно через вищезгадану ондуляторність схеми включення системи живлення в моменти, коли відбувається прискорення пучків у одних каналах (у яких електричне поле спрямоване у "прискорювальному напрямку"), у інших каналах прискорення не відбувається. Замість цього там має місце процес перемагнічування магнітних сердечників індукторів. Через половину робочого періоду канали міняються ролями. А саме, прискорення відбувається у других із них, тоді як перемагнічування - у перших. Такі режими роботи БЛПП називають *тригерними*. Їх рекомендується застосовувати у спеціальних випадках, коли ставиться завдання досягнення максимального сумарного струму пучків та максимальної середньої потужності при помірних значеннях енергії пучків. Як приклад тут можна назвати системи стерилізації і очищення природних та стічних вод у великих містах, очищення масових димових викидів вугільних електростанцій, металургійних та хімічних заводів, системи, у яких використовують стимулювання хімічних реакцій за рахунок опромінення пучками заряджених частинок тощо [8,9].

У конструктивних версіях другого типу тільки частина каналів використовується власне для прискорення пучків, тоді як інші канали виявляються "пустими" (тобто без пучків). У такому разі, однак, виникає законне запитання: а у чому ж тоді полягає практичний сенс конструкції такого типу, тому що, здавалося б, у такому випадку ми сильно втрачаємо в ефективності системи у цілому. Відповідь криється у особливостях згаданої вище ондуляторної системи живлення індукторів. Справа у тому, що специфікою БЛПП на базі одноканальних прискорювальних блоків є реалізація вищезгаданого ефекту взаємної компенсації електричних полів у навколишньому просторі [2]. Це відповідно дозволяє кардинально вирішити проблему електромагнітної сумісності прискорювальних блоків БЛПП з іншими системами, що є доволі актуальною для традиційних (тобто однопучкових) ЛПП. "Пусті" прискорювальні канали у подібних конструктивних версіях БЛПП використовують *лише для компенсації* зовнішніх електричних полів прискорювача. Сфера застосувань таких конструкцій - це перш за все системи, в яких вимоги до рівня електромагнітної сумісності виявляються особливо жорсткими. Наприклад, у випадку мобільних та бортових систем, коли у обмеженому робочому просторі необхідно розмістити одночасно як сам прискорювач, так і його допоміжні електронні та електротехнічні системи (системи живлення, управління, контролю, зв'язку, навігації і т.д.). В останньому випадку більш прийнятною виявляється "беззалізна" версія виконання конструкторів індукторів [2].

За способом екранування багатоканального прискорювального блоку БЛПП, в свою чергу, можна класифікувати на три конструктивні підтипи, а саме: на конструкції із спільним електричним екраном, секціоновані та змішані конструкції.

2.2 Системи із спільним електричним екраном

Приклад найпростішого БЛПП із спільним екраном наведено на рис. 1.

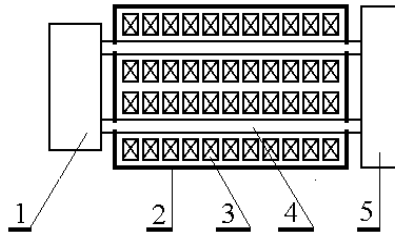


Рисунок 1 - Конструктивна схема двоканального ВЛП на базі одноканальних блоків із спільними екранами для всіх прискорювальних секцій [3,4]: 1 - здвоєний інжектор заряджених частинок; 2 - спільний екран для всіх секцій; 3 - індуктори прискорювального блока; 4 - прискорювальний канал; 5 - блок вихідних систем для пучків

Тут здвоєний інжектор заряджених частинок (що працює у тригерному режимі) формує два пучки заряджених частинок, які по черзі прискорюються у каналах 4. Кожен із каналів виконано у формі діелектричної вакуумної трубки. Зовні трубки охоплені фокусуючими соленоїдами, які забезпечують можливість транспортування пучків без осідання на бокові стінки. Внутрішні частини трубок покрито спеціальним високоомним електропровідним покриттям. Функціонально останнє зроблено для забезпечення можливості стікання зарядів, які у процесі роботи все ж таки потрапляють (із пучка) на внутрішні стінки каналів 4. Індуктори 3 при цьому охоплюють канали 4, а самі прискорені пучки спрямовують у вихідний блок 5.

Прискорювальний блок ВЛП як ціле розміщено в спільному електричному екрані 2, який у даному випадку, виконує подвійну функцію. Перша з них - це максимально можливе екранування оточуючого простору прискорювача від проникнення туди вихрових електричних полів, що генеруються індукторами. При цьому за рахунок взаємного впливу індукторів одночасно досягається збільшення (на ~ 10-15%) темпу прискорення заряджених частинок [2].

Друга функція полягає в ізоляції внутрішньої частини прискорювального блока від зовнішнього атмосферного повітря. Останнє є важливим перш за все тому, що при рівнях ВЧ-напруги (25-75 кВ) між електродами індукторів 3 (у разі розміщення їх в атмосферному повітрі) різко збільшується імовірність виникнення електричних пробів. Для уникнення цього небажаного ефекту внутрішній об'єм екрана 2 наповнюють спеціальним ізолюючим газом, що характеризується високою електричною міцністю (наприклад, азотом при високому тиску чи елегазом (SF_4)). Цікавим при цьому виявляється те, що внаслідок специфіки деяких технологічних та конструктивних особливостей виготовлення індукторів у даному випадку автоматично підвищується електрична міцність їх магнітних сердечників, виконаних на базі матеріалів типу MetGlass. З іншого боку, більш зручна (конструктивно) конфігурація внутрішнього геометричного об'єму екрана дає можливість значно покращити динаміку примусової циркуляції ізолюючого газу в ділянці індукторів. Як наслідок, зростає ефективність відводу надлишків тепла, що утворюється при роботі магнітних сердечників індукторів. У таких випадках зовнішній екран 2 додатково використовують також як специфічний тепловий радіатор з повітряним чи водяним охолодженням. У разі ж систем із підвищеною середньою потужністю, коли теплорозсіюючої здатності екрана вже не вистачає для відведення усього об'єму надлишкового тепла, до нього додатково підключають спеціальні теплообмінники.

Таким чином, достоїнствами конструкцій із спільним екраном типу такої, що зображено на рис. 1 є:

- 1 Сприятливі умови для тепловідводу від індукторів.
- 2 Підвищення значення середнього темпу прискорення пучка у каналі.
- 3 Відносні компактність і простота конструкції.

Із сказаного вище, однак, впливає, що у загальному випадку БЛП (причому незалежно від конструктивної версії) максимум потужності (причому як середньої, так і пікової) визначається не скільки обмеженнями на потужність самих пучка (як це має місце у традиційних ЛП), скільки здатністю конструкції забезпечити розв'язання теплових проблем. А це у випадку надпотужних систем висуває особливо жорсткі умови щодо забезпечення високих значень електронного ККД прискорювальної секції. Пояснення останньої обставини пов'язано з тим, що величини теплових втрат у магнітних сердечниках реально мало пов'язана із силою струму пучка і визначається в основному конструктивними особливостями індукторів. То ж очевидно, що максимально можливе збільшення струму пучка (тобто радикальне збільшення корисної частини потужності) автоматично призводить до зростання електронного ККД. Як у випадку традиційних ЛП, так і БЛП це означає бажаність переходу на роботу з підвищеними значеннями сили струму пучків (до 10-30 кА і більше), що паралельно веде до різкого збільшення потужності системи. На жаль, як показав практичний досвід проектування, БЛП із спільним екраном не здатні технологічно забезпечити таку можливість. Головна проблема у даному випадку пов'язана із загрозою виникнення лавиноподібного електричного пробію на внутрішній стінці каналу 4 (див. рис. 1), яка зростає із збільшенням сили струму пучка. Тобто використання схем БЛП із спільним екраном не є перспективним при створення потужних та надпотужних електронно-променевих систем. У зв'язку з цим сферою практичного застосування такого типу конструкцій є, як правило, системи з відносно невеликими енергіями і силою струму пучка (наприклад, різного типу системи мобільного та бортового базування). Відповідно оптимальними конструкціями для магнітних індукторів у таких випадках є "беззалізні" системи з надпровідниковими обмотками.

2.3 Секціоновані БЛП

Головним шляхом усунення названого вище недоліку є використання конструктивного прийому секціонування (більш детально про нього див. у попередніх частинах даної роботи [1,2]). Останнє дозволяє відмовитись від використання довгих діелектричних труб у ділянці прискорення (як у прикладі, наведеному на рис. 1) і перейти до секціонованих систем з короткими прискорювальними проміжками. Тут, у свою чергу, отримуємо дві можливості. Перша з них полягає у використанні стандартного (як і у випадку традиційних ЛП) прийому секціонування для кожної прискорювальної секції кожного із одноканальних (парціальних) прискорювальних блоків. Даний підхід, однак, у випадку БЛП має обмежену практичну цінність. Проблема полягає у тому, що у такому випадку ми автоматично отримуємо всі технологічні недоліки традиційних ЛП, перш за все, пов'язані з конструктивною "тісністю" в робочому об'ємі екрана. Зазначені проблеми, у випадку БЛП до того ж додатково загострюються суттєвими конструктивними незручностями, які виникають при розміщенні кількох паралельних секціонованих ЛП (розміщення підводів кабелів, організація раціональної системи тепловідведення (бо одні одноканальні блоки "гріють" інші паралельні) і т.д.).

У зв'язку з вищесказаним набагато перспективнішими виявилися так звані комбіновані секціоновані БЛПП [5]. Приклад конструктивної схеми такого типу наведено на рис. 2. Принцип її дії є очевидним з огляду на викладене вище та в роботах [1,2]. У цьому зв'язку при її обговоренні обмежимося лише короткими коментарями.

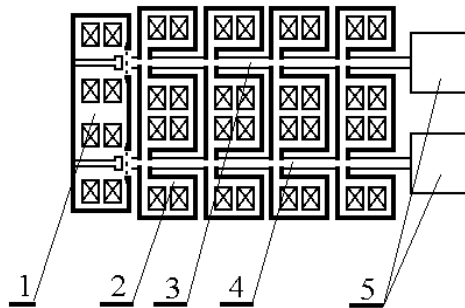


Рисунок 2 - Конструктивна схема двоканального лінійного індукційного електронного прискорювача із комбінованими (спільними тільки для паралельних секцій) екранами [5]: 1 - здвоєний інжектор заряджених частинок із спільним екраном; 2 - здвоєні прискорювальні секції із спільним екраном; 3 - перший прискорювальний канал; 4 - другий прискорювальний канал; 5 - вихідні системи для пучків

Як легко побачити із рис. 2, головною ідеєю даної комбінованої схеми є виконання прийому секціонування тільки у напрямку прискорення пучків (*поздовжнє секціонування*), тоді як у поперечному напрямку, як і у випадку, наведеному на рис. 1, збережено принципову схему спільного електричного екрана. Як наслідок, ми, з одного боку, як і у випадку традиційних ЛПП, отримали окремі прискорювальні секції, де процес прискорення у повздовжньому напрямку (на відміну від конструкцій типу, наведених на рис. 1) відбувається лише у вузьких прискорювальних проміжках [1,2]. Відповідно знімаються найбільш гострі конструктивні і технологічні проблеми, що характерні для БЛПП із спільним екраном. З іншого боку, використання спільного екрана *одночасно для кількох паралельних* прискорювальних секцій дозволяє зберегти більшість переваг несекціонованих систем (покращання умов теплообміну, зменшення поперечних габаритів і т.д.). Як наслідок, з'являється гарна перспектива до створення БЛПП, у яких вдається одночасно реалізувати більшість вищезгадуваних переваг обох вище обговорених типів конструкцій. А саме, з одного боку, покращені умови для тепловідведення від індукторів, а з іншого - різке збільшення сумарної сили імпульсного пучка (сотні амперів і в принципі більше), при збереженні відносної простоти конструкції і досягненні високих електронних ККД. Саме на таких конструктивних версіях і пропонується, у тому числі, будувати надпотужні прискорювальні системи з помірними значеннями енергії пучків (одиниці *MeV*).

Далі, однак, зауважимо, що на практиці далеко не завжди ставиться інженерна задача досягнення рекордних рівнів потужностей пучків і за рахунок цього отримання високих електронних ККД. Нерідко виникає потреба у системах з високими ККД, призначених, однак, на відміну від попередніх, для формування серії паралельних пучків *помірних* потужності та сили струму. Використання конструктивних схем із внутрішньою та зовнішньою багатоканальністю являє собою один із найбільш ефективних шляхів досягнення поставленої мети.

3 БЛП ІЗ ВНУТРІШНЬОЮ БАГАТОКАНАЛЬНІСТЮ

Суть ідеї та принципи дії систем із внутрішньою багатоканальністю детально обговорювалися раніше в роботі [2]. Тому далі у цьому параграфі обмежимося лише обговореннями тільки деяких схемних аспектів конструктивних версій даного типу.

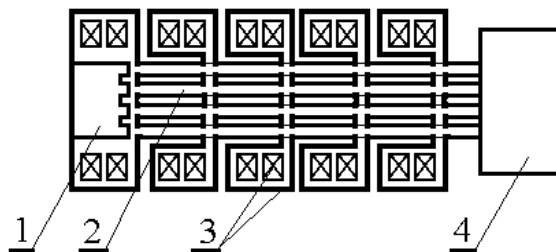


Рисунок 3 - Конструктивна схема чотириканального лінійного індукційного електронного прискорювача із внутрішньою багатоканальністю [6]: 1 - чотирикатодний інжектор заряджених частинок; 2 - парціальні прискорювальні канали; 3 - прискорювальні секції; 4 - вихідна системи для парціальних пучків

Як показав проектний аналіз, найбільш раціональним для практики може бути використання двох характерних схем компоновки внутрішніх каналів у поперечній площині, а саме: схем з планарним (плоским) та азимутально-симетричним (круглим) їх розміщенням.

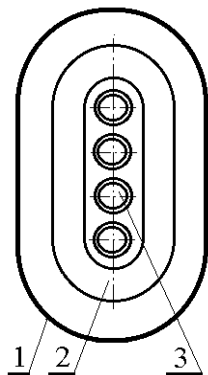


Рисунок 4 - Приклад схеми з планарним компоуванням каналів у прискорювальній секції (поперечна проекція див рис. 3) [6]: 1 - електричний екран; 2 - еліптичний індуктор; 3 - прискорювальні канали

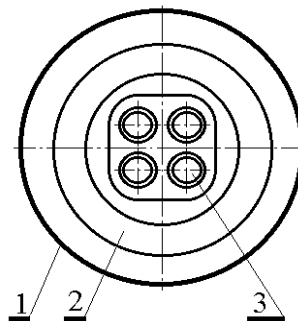


Рисунок 5 - Приклад схеми з радіально-симетричним компоуванням прискорювальних каналів (поперечна проекція) [6]: 1 - електричний екран; 2 - еліптичний індуктор; 3 - прискорювальні канали

Приклад компоування проілюстровано на рис. 4. Характерною особливістю даної схеми є еліпсоподібна форма магнітних індукторів 2 (див. рис. 4). Як легко бачити, це дає можливість розмістити усі чотири канали в площині, яку утворює перетин великої осі еліпса індуктора 2 з осями прискорювальних каналів 3 (саме цей конструктивний варіант розміщення каналів і показано на рис. 4). Такі конструктивні версії виявляються зручними, наприклад, у випадках, коли стоїть завдання формування просторово-розвинутих надпотужних електронних пучків. Наприклад, при створенні систем для очищення великих мас димових

викидів вугільних електростанцій, металургійних комбінатів, хімічних підприємств тощо.

Схему з азимутально-симетричним (круглим) компонованням каналів проілюстровано на рис. 5. Як легко побачити, тут кожен із каналів 3 розміщено по азимуту в площині радіус-вісь (каналу) симетрично відносно осей симетрії кільцеподібних індукторів 2 (див. рис. 5). Такі конструкції доцільно використовувати у випадках, коли ставиться завдання у кінцевому підсумку сформувати компресований азимутально-симетричний пучок з підвищеною силою струму. Наприклад, у випадку їх застосування у надпотужних системах типу лазер на вільних електронах.

3 БЛП ІЗ ЗОВНІШНЬОЮ БАГАТОКАНАЛЬНІСТЮ

У деяких комерційно цікавих випадках ставиться завдання створення надсерьезумових і одночасно відносно низьковольтних (кілька MeV) джерел пучків заряджених частинок. Як приклад тут можна навести цілу гаму технологій, побудованих на ефекті стимулювання хімічних реакцій чи модифікації поверхні різноманітних матеріалів пучками заряджених частинок (електронами чи іонами). Зайве говорити, що вирішення завдання побудови такого типу джерела, скажімо на кілька сот кілоампер струму пучка, на традиційній технологічній базі не є реальним. Хоча б внаслідок відомих фізичних обмежень принципового характеру (у тому числі, внаслідок "закона ступеня $3/2$ "). Тобто тут потрібні нові ідеї і нові підходи. Частково такі ідеї і підходи було запропоновано в патенті [6]. Частково вони вже обговорювались в роботі [2]. Це було зроблено на найпростішому прикладі, коли увесь прискорювач виконано у формі багатокатодного інжектора із зовнішнім розміщення катодів відносно індуктора. У загальному випадку до такого інжектора може бути підключено також кілька багатоканальних прискорювальних секцій. Можливі й інші конструктивні інтерпретації цієї ж ідеї. Приклад такої системи наведено на рис. 6. Її головна відмінність від вищеобговорюваної у даному випадку полягає у формі виконання інжекторного блока, а саме: тут останній виконано у вигляді сукупності окремих однопучкових інжекторів 1 (див. рис. 6). Прискорювальні ж секції 3 при цьому можуть бути побудовано на базі як еліпсоподібних так і круглих індукторів (подібних до тих, що проілюстровано на рис. 4,5).

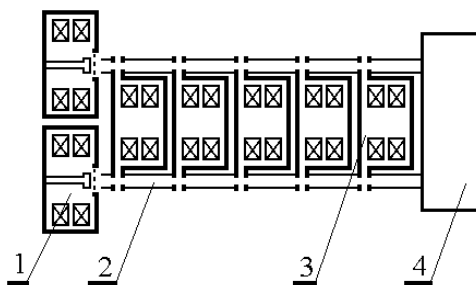


Рисунок 6 - Приклад конструктивної схеми багатоканального лінійного індукційного електронного прискорювача із зовнішньою багатоканальністю [6]: 1 - однопучкові інжектори заряджених частинок; 2 - зовнішні прискорювальні канали; 3 - прискорювальні секції; 4 - вихідна системи для парціальних пучків

Слід, однак, зауважити, що "у чистому вигляді" схеми, подібні до тієї, що наведено на рис. 6, на практиці мають доволі обмежену сферу застосувань. Набагато перспективнішими тут є конструкції комбінованого типу, до розгляду яких і перейдемо далі.

5 КОМБІНОВАНІ СХЕМИ ВЛПП

Запропоновано два типи комбінованих схем ВЛПП, які відрізняються набором базових конструкцій, які, власне, і використовують як конструктивну базу для комбінування. Перша із згаданих схем являє собою подальший розвиток конструктивних ідей, що базуються на комбінуванні одноканальних прискорювальних блоків ЛПП (див. рис. 1, 2 та відповідні обговорення). Очевидно, що загальна ідея у такому випадку може бути легко поширена на комбінування прискорювальних блоків із внутрішньою багатоканальністю (подібних до тих, що показано на рис. 3). Приклад такого типу комбінованих схем наведено на рис. 7. Подібно до схеми, наведеної на рис. 2, тут також використано ідею повздовжнього секціонування при одночасному застосуванні прийому спільного екранування у поперечній площині.

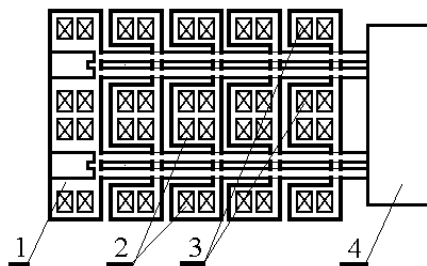


Рисунок 7 - Приклад комбінованої схеми багатоканального лінійного індукційного електронного прискорювача, побудованої на базі прискорювальних блоків із внутрішньою багатоканальністю [5,6]: 1 - багатоканальний інжекторний блок, побудований на основі багатокатодних інжекторів заряджених частинок; 2 - індуктори першого прискорювального блока з внутрішньою багатоканальністю; 3 - індуктори другого прискорювального блока з внутрішньою багатоканальністю; 4 - вихідна система для парціальних пучків

На відміну від схеми, проілюстрованої на рис. 7, комбінування в конструкції, зображеній на рис. 8, проведено на дещо інакшій конструктивній базі. А саме: тут використано ідею коаксіальних конструкцій, яку було доволі детально обговорено раніше в роботі [2] (на прикладі коаксіального багатокатодного інжектора). Суть ідеї, як говорилося, полягає у тому, щоб конструкцію із зовнішніми прискорювальними каналами (типу тієї, що показано на рис. 6) охопити коаксіально по типу того, як це зроблено в конструкції на рис. 3, відносно внутрішніх каналів. Тоді канали 2 відносно внутрішніх індукторів 3 (див. рис. 8) є зовнішніми і одночасно ті самі канали відносно зовнішніх індукторів 4 відіграють роль внутрішніх.

Більш наочно вищеописану ситуацію проілюстровано на рис. 9, де прискорювальну секцію конструкції на рис. 8 показано у поперечній площині. Зазначимо, однак, що як і у попередніх подібних випадках (див., наприклад, рис. 4,5) індуктори коаксіальної системи, що обговорюється, можуть бути виконані як у круглому (див. версію на рис. 9), так і плоскому варіантах.

Очевидно, що конструктивна ідея, продемонстрована на рис. 8,9, може бути розвинута і далі у напрямку комбінування багатоканальних систем типу наведених на рис. 8,9 за схемою, яка застосовувалася до комбінування одноканальних прискорювальних блоків (див. рис. 1,2 та відповідні обговорення). Конструктивні версії такого типу, як неважко впевнитись, принципово знімають більшість існуючих на сьогодні обмежень на величину струму пучка, що є характерними для

традиційних ЛПП. Так склалося, що технологічно на сьогодні взагалі покищо не має принципних перепон для створення БЛПП із сумарним "гіперсильним" струмом, скажімо, 500 чи 1000 кА чи більше. Реальні ж обмеження, які, звичайно ж, неодмінно з'являться, вже будуть мати суттєво інше смислове навантаження. Наприклад, у таких випадках до класу поважних вже переходять проблеми, пов'язані із створенням "гіперпотужних" зовнішніх джерел електроживлення і т.п.

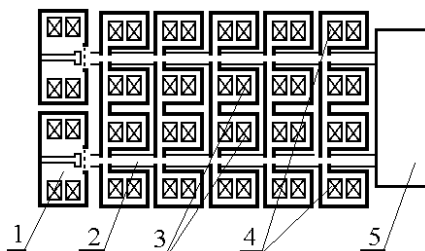


Рисунок 8 - Приклад конструктивної схеми коаксіального багатоканального лінійного індукційного електронного прискорювача комбінованого типу [6]: 1 - однопучкові інжектори заряджених частинок; 2 - прискорювальні канали; 3 - індуктори внутрішньої прискорювальної секції; 4 - індуктори зовнішньої прискорювальної секції; 5 - вихідна системи для парціальних пучків

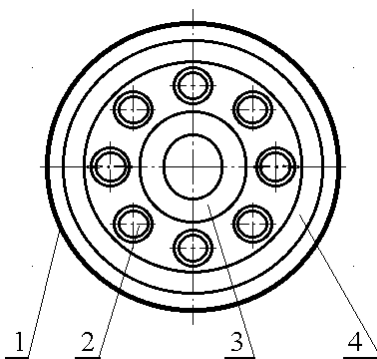


Рисунок 9 - Приклад конструктивної схеми прискорювальної секції коаксіального багатоканального лінійного індукційного електронного прискорювача, наведеного на рис. 8 (поперечна площина) [6]: 1 - електричний екран; 2 - прискорювальні канали; 3 - індуктори внутрішньої прискорювальної секції; 4 - індуктори зовнішньої прискорювальної секції

ВИСНОВКИ

Таким чином, як впливає із проведеного в роботі обговорення, багатоканальні лінійні індукційні прискорювачі (БЛПП) утворюють широкий і різноманітний клас прискорювальних систем. Окреслено оптимальну технологічну нішу практичного застосування даного класу пристроїв. Це переважно потужні і надпотужні сильноточні (від одиниць кА до сотен (і навіть тисяч) кА) системи з відносно невисокими величинами енергії (від 0,5МеВ до 10МеВ). Особливо відзначимо, що, як показав проведений аналіз, такого масштабу технологічний прорив у даній ділянці техніки може бути зроблено на вже існуючій і добре

освоєній технологічній базі традиційних лінійних індукційних прискорювачів (ЛІП).

SUMMARY

The multi-channel linear induction accelerators (MLIA's) has been discussed in the paper. As it is shown, they make big and multifarious subclass of the 'Multi-channel induction accelerators (MIA)'. It is cleared up that the MLIA's, as a rule, are powerful (and 'hyper-powerful' - till to 10^{13} W and more) high current systems (from ones to thousands kA), which are characterized by relatively low beam energy (from 0,5 MeV to 10 MeV). The optimal niche of their practical using has been determined. It is found that experimental realization, for examples, the 'hyper-powerful' MLIA, can be accomplished on the bases of known and good developed today technological bases of traditional linear induction accelerators (LIA).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Куліш В.В., Губанов І.В., Ландграф А.К. Багатоканальні індукційні прискорювачі - новий клас технологічних систем комерційного призначення. Загальна характеристика // Вісник СумДУ. - 2005. - №4 (76). - С. 44-58.
2. Куліш В.В., Губанов І.В., Ландграф А.К. Багатоканальні індукційні прискорювачі - новий клас технологічних систем комерційного призначення. Класифікація та базові ідеї // Вісник СумДУ. Серія Фізика, математика, механіка. - 2005. - №4 (76). - С.131-146.
3. Patent US 6,653,640 B2. Multi-channel linear induction accelerator/ V.V. Kulish, A.C. Melnyk; Pending Patent Serial No US 2002/0109472 A1; Filed Aug. 15, 2002; Date of Patent Nov. 25, 2003.
4. Патент UA 2001020957. Багатоканальний лінійний індукційний прискорювач заряджених частинок / В.В. Куліш, А.К. Мельник; Виданий 15.04.2004; Пріоритет 13.02.2001.
5. US Pending Patent Serial No. 10/797,380. Multi-channel induction accelerator / V.V. Kulish, A.C. Melnyk; Filed March 10, 2004 .
6. US Pending Patent Serial No. 10/949,633. Multi-channel accelerator with External Channels / V.V. Kulish, A.C. Melnyk; Filed September 24, 2004.
7. Вахрушин Ю.П., Анацкий А.И. Линейные индукционные ускорители.- М.: Атомиздат, 1978.- 248 с.
8. Патент UA 2001020953. Електронний стерилізатор / В.В.Куліш, А.К. Мельник; Виданий 15.04.2004; Пріоритет 13.02.2001.
9. US Pending Patent Serial 10/022,228. Electronic Sterilizer / V.V. Kulish, A.C. Melnyk; Filed Dec. 20, 2001.

Надійшла до редакції 28 грудня 2005 р.

УДК 539.2

СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ

А.В. Хоменко, канд. физ.-мат. наук, доцент;

Н. В. Проданов, студент

Сумский государственный университет

Исследуется кинетика плавления аморфной ультратонкой пленки смазки, заключенной между атомарно плоскими кристаллическими поверхностями. Процесс представлен как фазовый переход второго рода. Для его описания использована реологическая модель Лоренца вязкоупругой среды, в которой роль параметра порядка играют сдвиговые напряжения, сопряженное поле сводится к сдвиговой деформации, а температура является управляющим параметром. Для возможных предельных случаев соотношений между временами релаксации, отвечающими указанным величинам, проведено