

УДК 550.35; 539.16

Т.В. Ковалінська

Інститут ядерних досліджень НАН України, пр. Науки, 47, 03680, Київ
e-mail: sungel@i.ua, interdep@kinr.kiev.ua

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ КОНТРОЛЮ КОНФІГУРАЦІЇ ПУЧКА ЕЛЕКТРОНІВ ПОТУЖНОГО ПРОМИСЛОВОГО ПРИСКОРЮВАЧА РАДІАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Приведено результати розробки одного із вузлів системи технологічної дозиметрії при здійсненні радіаційних технологій з інтенсивними пучками електронів. Для радіаційної установки ІЯД НАНУ розроблено варіант реалізації “прозорих” радіаційних вимірювань струму пучка та рівномірності розподілу електронів в його перерізі в режимі реального часу не перериваючи експеримент. Обговорюються особливості конструкції приладу та методика обробки інформації.

Ключові слова: прискорювач, пучок електронів, конфігурація, вимірювальний прилад.

Метрологія пучка заряджених частинок є важливою умовою отримання коректних результатів експериментальних досліджень в ядерній та радіаційній фізиці, а також гарантією успішного використання в промисловості технологій, де передбачається опромінювання матеріалів. В останньому випадку проблема постає найбільш гостро, бо в промислових процесах доводиться контролювати пучки електронів з високою інтенсивністю і, за звичай, в атмосфері. В обох випадках проєктанти використовують різноманітні методи [1, 2] тільки основних показників пучка – струму пучка та положення центру ваги в контрольній точці.

В експериментальній ядерній фізиці ці методи надзвичайно досконалі. Вони забезпечили виконання унікальних ядерно-фізичних експериментів практично на усіх типах заряджених частинок.

В ІЯД НАНУ також є глибокі традиції конструювання і використання таких засобів для наукових досліджень. На перших етапах експериментів на пучках заряджених частинок (50-60 роки минулого століття) використовувались різноманітні механічні пристрої, які забезпечували переміщення ізольованого металевго електрода поперек перерізу пучка (т.зв. сканери пучка). Це, зазвичай, були дуже

високопрофесійні конструкції з серії точної механіки. Вже більше півстоліття в ІЯД на циклотроні У-120 успішно використовуються механічні сканери оригінальної конструкції, які забезпечують сканування площини пучка в двох взаємноперпендикулярних напрямках всього лише одним електродвигуном. З цих сканерів на циклотроні утворено систему контролю за пучком практично по усьому тракту його транспортування. Вона забезпечила можливість надійної і довготривалої експлуатації цього унікального і корисного прискорювача.

Для більш потужного циклотрона У-240 в середині 70-х років минулого століття в ІЯД створено сканер без електродвигуна, також оригінальної конструкції [3]. Тут металевий зонд спеціальної форми рухається впоперек пучка за допомогою маятникового приводу з електроімпульсним збудженням. Форма цього електрода така, що за один період коливання маятника, здійснюється сканування пучка в двох взаємно-ортогональних напрямках. Його оригінальність – відсутність окремого електродвигуна і відсутність проблем з розташуванням у вакуумній камері іонопровода, тракту транспортування.

Найбільш значним досягненням ІЯД в цьому напрямку є скануючий електро-

механічний пристрій, створений для контролю розподілу в просторі виведеного пучка електронів потужного промислового прискорювача [4].

Оригінальність такого сканера полягає в можливості сканування надзвичайно великих просторів – майже 1 м^2 . Цей Дорогий пристрій належить до переліку точних механічних засобів і при його створенні було здійснено низку непростих заходів – від вибору конструктивних рішень, до оптимального підбору матеріалів, здатних тривалий час працювати в інтенсивних радіаційних полях. Єдиною проблемою цього засобу є велика постійна часу вимірювань, пов'язана з його конструктивними особливостями.

В ІЯД були теоретичні розробки шляхів прогресу електромеханічних сканерів для скорочення термінів вимірювання і отримання від них додаткової інформації [5], але які через відсутність на той час теорії їх побудови та необхідних технічних комплектуючих, на жаль, не змогли бути реалізовані в той період.

В кінці минулого століття для пучків заряджених частинок високих енергій набули популярності електронні методи контролю. З найбільш унікальних і невідрядано мало описаних доцільно навести електронну систему для контролю за положенням протонного пучка без будь-якої механіки на циклотроні У-240, сконструйовану В.Г.Єгошиним. На жаль, в доступних публікаціях не вдалося відшукати детального опису такого цікавого приладу, лише можна зауважити, що він практично не поступається опублікованим унікальним системам контролю за пучками в інших крупних ядерних центрах, наприклад ІЯФ РАН м. Новосибірськ [7]. Тому приступаючи до конструювання чергового пристрою для контролю пучка на новому потужному прискорювачі електронів, ми мали можливість скористатися великим попереднім досвідом і продовжили традиції ІЯД в частині створення приладів і техніки для ядерних експериментів.

При розробці технічного завдання на новий спеціалізований пристрій для нової багатоцільової радіаційної установки ІЯД [6], за допомогою якого можна не тільки

контролювати форму пучка і його положення, але і визначати фактичний розподіл його інтенсивності в площині вимірювання, вибрано електромеханічний напрямок конструювання. Мета – контроль пучків електронів, виведених в атмосферу.

Це було складною проблемою, бо процеси взаємодії пучка з атмосферою супроводжуються утворенням інтенсивних електричних полів і електромагнітних перешкод, які ускладнюють інтерпретацію результатів вимірювань. Для таких завдань виникає необхідність пошуків методів і конструювання відповідних технічних засобів, здатних тривалий час працювати в радіаційних полях високої інтенсивності. Водночас, з огляду на велику радіаційну потужність в пучку (до $1 \text{ А/імп. в перерізі } 1\text{-}5 \text{ см}^2$), переривання небажане, тому що будь-яка перешкода на його шляху змінює характеристики пучка та вносить значний вміст гальмівного гамма-випромінювання широкого спектра в опромінюваний об'єм. Це спотворює параметри радіаційного поля, що небажано, наприклад, при дослідженнях фундаментальних процесів у матеріалах реакторобудування, для радіаційного випробування обладнання АЕ, електроніці. Найбільш високоякісний контроль серед відомих пристроїв здійснюється системою електродів, розташованих під різними кутами і перекриваючими увесь переріз пучка [8]. При розробці нашого приладу вирішувалась задача мінімізації їх числа і визначення необхідної і достатньої кількості електродів для задоволення точності запланованих експериментів і запобігання спотворень радіаційного поля.

Спочатку теоретично встановлено, а потім і реалізовано в єдиній конструкції досить оригінальний пристрій, що забезпечує виконання поставлених вимог навіть одним електродом, який рухається в перерізі пучка. Скориставшись можливостями сучасної технічної бази вдалося практично реалізувати попередні теоретичні розробки ІЯД [5] щодо перспективних напрямків удосконалення електромеханічних методів контролю перерізу пучка заряджених частинок. У створеному приладі можливість сканувати переріз пучка в різних

напрямах реалізована технічно. Для цього електрод зі своїм автономним електричним приводом встановлено на рухомій платформі, яка може повертатися на певний кут за допомогою другого електричного приводу. Такий прилад надає можливість отримати набір значень інтегральної інтенсивності пучка при різних напрямках сканування.

Використання одного тонкого електрода (переріз якого займає менше 0,3% від перерізу пучка), не призводить до спотворення його характеристик. Вказаний прилад є основою реалізації неруйнівного методу контролю положення, форми і перерізу пучка. Для цього утворено вимірювальну систему, яка складається з вказаного пристрою і електронної апаратури управління приводом і обробки інформації. Схема системи наведена на рис. 1.

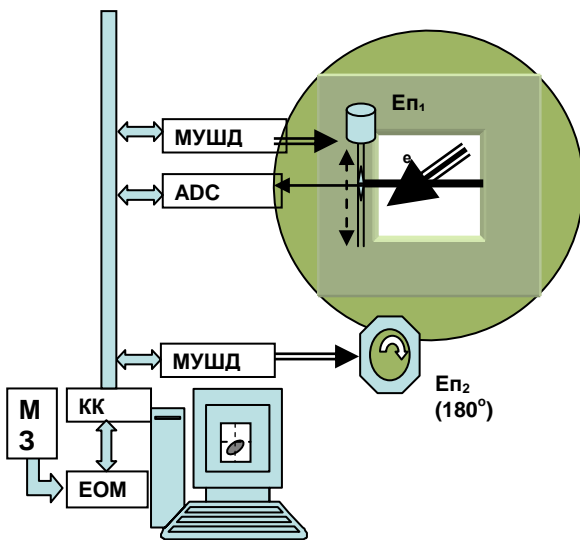


Рис. 1. Схема системи контролю перерізу пучка.

З точки зору скорочення часу «відгуку» приладу – швидкості отримання інформації – кількість електродів може бути збільшена до 2, 3, 5 і т.д. електродів з урахуванням вище наведених міркувань. Наприклад, для нашої радіаційної установки, яка характеризується аксіально-симетричним круглим пучком, ми вважали, що доцільно використати два електроди, а кут повороту сканування зменшити до 45° .

За характеристиками механічний вузол належить до складних прецизійних

пристроїв. Похибка позиціонування електродів не перевищує 0,2 мм, мінімальна відстань між точками позиціонування складає 1 мм для електродів завтовшки 0,8-1 мм. Поворот площини сканування калібрується спеціальними імпульсними електродвигунами з точністю не гірше 0,3 градуси в інтервалі від 1 градуса і більше. Загальний поворот площини сканування складає 180 градусів. Тактова частота 1 Гц.

Пристрій утворено масивною планшайбою, на якій встановлена система з двох рухомих електродів. Це зроблено з метою прискорення процесів отримання інформації і дозволяє скоротити час сканування. Таке ускладнення практично не позначається на метрології вимірювань, а похибка від спотворень пучка становить менше 0,6%. Оскільки прилад встановлено в інтенсивних радіаційних полях, для захисту його елементів від пошкоджень і спотворень планшайба змонтована на масивній основі (рис. 2). Завдяки її розмірам на ній можна розмістити всі необхідні елементи – датчики положень, електроприводи, датчики автоматичного керування. Крім того, конструктивні розміри основи вибрані з умови повного поглинання енергії пучка електронів і така основа надійно захищає усі важливі елементи приладу від прямої дії пучка.

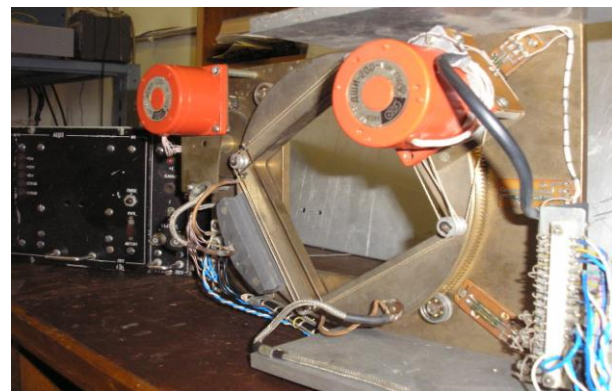


Рис. 2. Планшайба сканера з розташованими елементами приводу і керування.

В експериментах її можна встановити як окремий пристрій або як складову частину експериментальної установки, наприклад, вузлом внутрішньої реакційної камери.

Для керування електроприводами переміщення сканера, отримання і обробки

сигналів з електродів та датчиків переміщення, узгодження усієї апаратури з каналом персонального комп'ютера було спеціально створено апаратно-програмний блок. Блок-схема наведена на рис. 3.

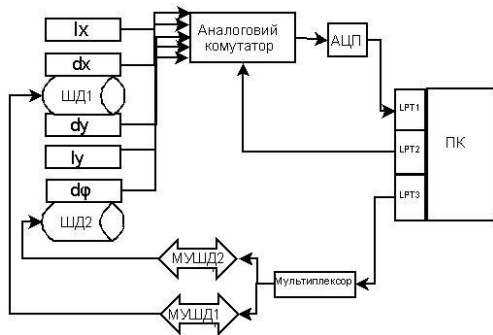


Рис. 3. Блок-схема апаратури.

Найбільш відповідальний вузол – інтерфейс зв'язку з каналом ПК – вибрано з числа стандартизованих пристроїв у стандартах PC, відомих як програмні модулі PC Lab. Пряме його використання в складі пристрою не зовсім зручне, тому для розширення можливостей PC Lab у вигляді надбудови розроблено засоби мультиплексування входів на 16 каналів, якими керують з комп'ютера. Створена таким чином система апаратних засобів (рис. 4) дозволяє отримати локальний розподіл інтенсивності в перерізі пучка і відобразити її форму на екрані монітора. Отриманий масив даних обробляється комп'ютером з використанням програм, поширених в комп'ютерній томографії.

Це суттєво полегшує процес ство-



Рис. 4. Комплект електронної апаратури.

рення таких приладів. Алгоритм обчислень ґрунтується на зворотному перетворенні Родона [9]. Аналіз літератури вказує на можливі похибки таких обчислень, особливо в місцях найбільшого «злому» функції розподілу інтенсивності. Похибка може виникати і при неоптимально вибраному алгоритмі числового інтегрування. Буде відчутний вплив дискретності сканування. Задля запобігання останньому було використано 2 електроди. На думку фахівців з інформатики краще скористатися формулою Сімпсона, яка знижує похибку більше, ніж на порядок.

Пристрій пройшов стендові і ходові випробування. Передбачено першочергово використати його при компонуванні внутрішньої реакційної камери для досліджень процесів утворення ізомерних станів ядер, при випробуваннях матеріалів, що входять до складу обладнання АЕС та як складову частину радіаційної установки для функціональних випробувань обладнання АЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучка заряженных частиц. – М., Энергоатомиздат, 1991. – ISBN5-283-03997-8/(Ва529121(2)).
2. Сахно В.И., Токаревский В.В., Азаров С.И. Система диагностики пучков заряженных частиц на основе емкостных датчиков // 9 совещание по дозиметрии потоков ионизир. излуч. Тез.докл. – Обнинск, 1992. – С. 43.
3. Линев А.Ф., Сахно В.И. Устройство для сканирования пучка циклотрона. – М., ПТЭ, №6, 1973. – С. 18.
4. Сахно В.И. Диагностика пучка в радиационно-технологичній установці з лінійним прискорювачем електронів // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерно-физические исследования. – 1999. - №4(35). - С. 66-67.
5. Соколова Н.А. Автоматизация процесса контроля состояния изохронного циклотрона / Автореферат канд. диссертации. – Киев. – 1987. – С. 16.
6. Радиационная установка с ускорителем электронов ИЯИ НАН Украины / И.Н. Вишневский, А.Г. Зелинский, В.И. Сахно, С.П. Томчай, А.В. Сахно

// Атомная энергия. – 2003. – Т. 94, вып. 2. – С. 163–165. – Библиогр.: 2 назв.

7. Бару С.Е. Автоматизация детекторов МД-1 и НД для экспериментов на ускорителях со встречными e^+ e^- пучками / 2-ой Всесоюз. семинар по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных

областях. – Новосибирск. – 1982. – С. 89.

8. Ковалінська Т.В. Дослідження та модернізація радіаційної установки ІЯД для функціональних випробувань обладнання та нових матеріалів АЕС / Автореферат канд. дисертації. – Київ. – 2011. – С. 18.
9. Хелгасон С. Преобразование Радона. М.: Мир, 1983. - С. 134.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2013 р.

T.V. Kovalinska

Institute for Nuclear Research, Ukr. Nat. Acad. Sci.
Pr. Nauky, 47, 03680, Kyiv

ELECTROMECHANICAL DEVICE FOR THE CONTROL OF ELECTRONS' BEAM CONFIGURATION OF THE POWERFUL INDUSTRIAL ACCELERATOR OF THE RADIATION INSTALATION

The results of the development of one of the knots of the technological dosimetry system during the realization of radiation technologies with intensive electrons' beams are presented. The variant of the realization of "transparent" radiation measurements of beam current and the equitability of electrons' distribution in its section in real-time without the interruption of the experiment is worked out for KINR radiation installation. The peculiarities of the device construction and the methodology of data processing are discussed.

Keywords: accelerator, electrons' beam, configuration, measuring device.

Т.В. Ковалинская

Институт ядерных исследований НАН Украины
пр. Науки, 47, 03680, Киев

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОНФИГУРАЦИИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ МОЩНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ РАДИАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Приводятся результаты разработки одного из узлов системы технологической дозиметрии при осуществлении радиационных технологий с интенсивными пучками электронов. Для радиационной установки ИЯИ НАНУ разработан вариант реализации "прозрачных" радиационных измерений тока пучка и равномерности распределения электронов в его сечении в режиме реального времени, не прерывая эксперимент. Обсуждаются особенности конструкции прибора и методика обработки информации.

Ключевые слова: ускоритель, пучок электронов, конфигурация, измерительный прибор.