

8. Борисов Г.А., Севастьянов В.Д., Вершинин В.Г. и др. Прецизионные измерения с делящимися детекторами нейтронов в реакторе БИР-2. Тез. V Всес. сов. по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. 3—7 декабря 1990 г. М.: НПО ВНИИФТРИ, 1990, с. 131—133.
9. Галиев Н.Б., Григорьев Е.И., Севастьянов В.Д., Ярына В.П. Комплекс нейтронно-активационных средств измерений для ядерно-физических установок. — Труды ВНИИФТРИ «Методы и аппаратура для точных измерений параметров ионизирующих излучений», 1978, вып. 36(66), с. 44—49.
10. Chalypka A. A law-mass, fast ionization chamber for detection of fission fragments. — Nucl. Instrum. Meth., 1979, v. 164, p. 105—112.
11. Васильев Р.Д., Ярына В.П., Севастьянов В.Д. Государственный специальный эталон единицы плотности потока нейтронов для области измерений на ядерно-физических установках. — Измерительная техника, 1974, № 7, с. 10—14.
12. Севастьянов В.Д., Тютиков Н.В. Исследование образцов веществ с делящимися нуклидами. — Труды ВНИИФТРИ, «Методы и аппаратура для точных измерений параметров ионизирующих излучений», 1984, с. 77—84.
13. Кошелев А.С., Маслов Г.Н., Петров Ю.В. КАСКАД—комплексная вычислительная программа для метода интегральных нейтронных детекторов. Тез. докл. V Всес. сов. по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. 3—7 декабря 1990 г. М.: НПО ВНИИФТРИ, 1990, с. 116—118.
14. Методические указания МИ 1806—87. ГСИ. Характеристики реакторных полей. Методика расчета спектров нейтронов по результатам нейтронно-активационных измерений. М.: ВНИИФТРИ, 1987.
15. Берзонис М.А., Бондарс Х.Я. Информационное и программное обеспечение расчетов спектров нейтронов по измеренным скоростям реакций. — Kernenergie, 1983, Bd. 26, S. 103—106.
16. Тарасенко Ю.Н., Игуменцев В.Н., Агуров В.А. и др. Создание и исследование вторичного эталона единицы плотности потока нейтронов. Тез. докл. IV Всес. сов. по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. 26—29 ноября 1985 г. М.: ВНИИФТРИ, 1985, с. 3.
17. Крайтор С.Н., Кошаева К.А. Исследование ^{231}Pa и ^{236}U для измерения спектров быстрых нейтронов. — Атомная энергия, 1973, т. 34, вып. 7, с. 49—52.
18. Борисов Г.А., Севастьянов Е.Д., Тарновский Г.Б. Исследование детекторов нейтронов с делящимся нуклидом уран-236. Тез. докл. V Всес. сов. по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. 3—7 декабря 1990 г. М.: НПО ВНИИФТРИ, 1990, с. 57—58.
19. Голиков И.Г., Лешаков И.И., Остроумов В.И. и др. Применение детекторов ^{238}Pu и ^{241}Am для измерения спектра нейтронов. — Труды ВНИИФТРИ «Методы и аппаратура для точных измерений параметров ионизирующих излучений», М.: ВНИИФТРИ, 1976, вып. 30(60), с. 42—46.
20. Клепацкий А.Б., Коньшин В.А., Маслов В.М. и др. Оцененные нейтронные константы урана-236: Препринт ИЯЭ АН БССР, Минск, 1987, № 2.
21. Клепацкий А.Б., Маслов В.М., Породинский Ю.В., Суховицкий Е.Ш. Применение теоретической модели для предсказания нейтронных сечений малоизученных ядер на примере ^{231}Pu . — В кн.: Нейтронная физика, т. 1. Материалы I Межд. конф. по нейтронной физике. 14—18 сентября 1987 г. М., 1988, с. 372—376.
22. Борисов Г.А., Севастьянов В.Д., Ярына В.П. и др. Создание отраслевой метрологической базы нейтронных измерений. Тез. докл. V Всес. сов. по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. 3—7 декабря 1990 г. М.: НПО ВНИИФТРИ, 1990, с. 3—4.
23. Павловский А.И., Малинкин А.А., Колесов В.Ф. и др. Двухсекционный бустер-реактор «Каскад» (БР-К). — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 1992, вып. 3, с. 3—11.

Поступила в Редакцию 10.09.93

УДК 621.039.54-436.1

УСТАНОВКА ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ПЛОТНОСТИ МИКРОТВЭЛОВ

Доморацкий Е.П. (ВНИИТФА)

Среди параметров шаровых твэлов ВТГР, определяющих его надежную и экономичную работу, важное место занимают геометрические характеристики и плотность микротвэлов [1]. Для управления качеством этой массовой продукции и формирования ее заданных свойств непосредственно в процессе производства (в режиме on-line) необходимы методы и средства автоматического высокопроизводительного прецизионного контроля, классификации, сортировки и дозирования гранул микро топлива (кernels, их покрытий и микротвэлов) по размеру, форме, числу, массе и плотности.

Известные методы и средства гранулометрии [2, 3], сортировки и дозирования [4, 5] не обладают быстродействием, точностью и достоверностью, необходимыми и достаточными для обеспечения указанных функций контроля топливных гранул в реальном масштабе времени, т.е. за время периода их подачи на позицию контроля.

В настоящей статье рассмотрены состав, принцип действия и технические характеристики оригинальной автоматической установки «Комби» для неразрушающего комплексного контроля качества гранулированного микротоплива ВТГР, основанной на оптико-электронных (телевизионных) методах быстродействующего динамического дифференциального многомерного контроля размера и формы микроэлементов с реконструкцией по контурам изображений двумерных теневых проекций в реальном масштабе времени [6].

Установка осуществляет следующие функции:

- измеряет средний проектированный (эквивалентный по площади трех теневых проекций) диаметр и коэффициент несферичности (отношение максимального и минимального габаритного размера) отдельной гранулы;

- классифицирует и сортирует гранулы по диаметру и коэффициенту несферичности;

- определяет число гранул в партии контроля, классах и группах сортировки по диаметру и коэффициенту несферичности;

- дозирует выборку по числу гранул;

- определяет распределение выборки гранул по диаметру и коэффициенту несферичности;

- определяет минимальное, максимальное и среднее значение, а также размах, дисперсию и стандартное отклонение выборки гранул по диаметру и коэффициенту несферичности;

- измеряет общую и среднюю поверхность и объем гранул выборки, а также среднюю толщину их покрытий;

- измеряет общую и среднюю массу гранул выборки и слоев покрытий;

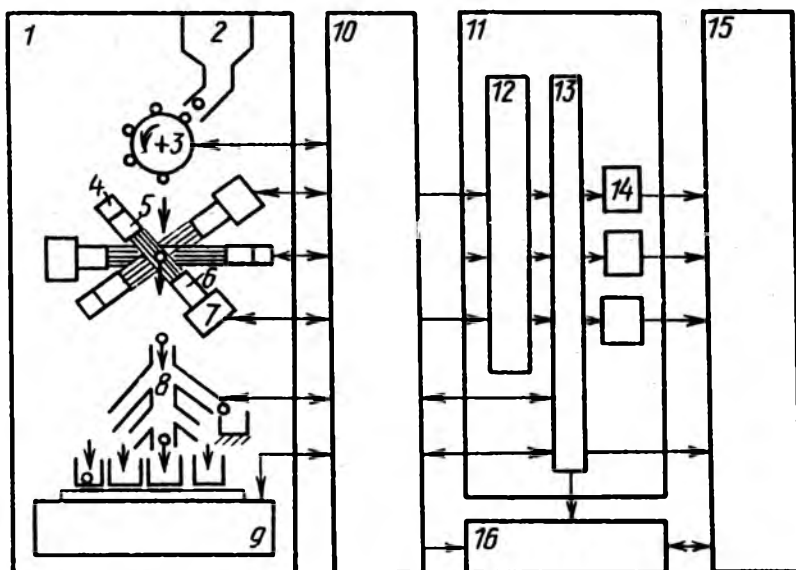
- дозирует выборку по общей массе гранул;

- определяет среднюю плотность гранул выборки и слоев их покрытий;

- отображает и документирует результаты контроля, исходной информации и режимов работы.

Принципы работы установки «Комби» заключаются в следующем (рис. 1). Партия гранул засыпается в приемник операционного модуля и после фильтрации поступает в питатель пневмоэлектромеханического устройства, которое обеспечивает разделение и равномерную поштучную подачу гранул под действием воздушной струи на измерительную позицию. При этом процесс разделения гранул осуществляется с помощью вращаемого шаговым двигателем тонкого диска, по периметру которого расположены всасывающие отверстия, соединенные Г-образными каналами с камерой пониженного давления [7]. Позиция измерения геометрических характеристик расположена в зоне пересечения трех лучей света, образованных импульсными полупроводниковыми инжекционными инфракрасными лазерами ИЛПИ-110 и оптическими системами формирования пучков [8].

В момент прохождения гранулой измерительной позиции происходит ее импульсная засветка (длительностью 0,8 мкс) и одновременное формирование увеличенных оптических изображений трех взаимно ортогональных теневых проекций с помощью панкратических микрообъективов [9]. Оптические изображения преобразуются в электронные и фиксируются матричными ПЗС-видеодетекторами форматом 572×360 элементов, выполненными на основе фоточувствительных микросхем К1200 ЦМ7 с открытой секцией хранения [10]. После этого проводится построчное считывание кадров изображений гранулы, формирование и выдача видеосигналов в модуль видеообработки и сопряжения [11]. Электропитание и управление устройствами операционного модуля обеспечивает электронный модуль.



Р и с. 1. Обобщенная структурная схема установки «Комби»: 1 — операционный модуль; 2 — питатель; 3 — устройство разделения гранул; 4 — импульсный лазер; 5 — оптическая система формирования пучка; 6 — панкратический микрообъектив; 7 — матричный ПЗС-видеодетектор; 8 — блок сортировки; 9 — электронные весы; 10 — электронный модуль; 11 — модуль видеобработки и сопряжения; 12 — устройство предварительной видеобработки; 13 — адаптер сопряжения; 14 — каналные ЭВМ видеобработки; 15 — центральная ЭВМ; 16 — пульт управления и регистрации

Устройство предварительной видеобработки осуществляет следующую дискриминацию видеосигналов по амплитуде, одновременное определение координат точек контуров дискретных электронных изображений, а также их построчный логический анализ, браковку по связности, вогнутости и размеру [12]. Затем цифровая информация о контуре изображений вводится с помощью адаптера сопряжений [13] в четырехмашинную вычислительную систему, работающую в реальном масштабе времени и состоящую из трех канальных ЭВМ «Электроника 60М» 15ВМ-16-012 и центральной ЭВМ 15ВУМС-28-025, каждая из которых для увеличения быстродействия и емкости оперативной и полупостоянной памяти дополнена платами МС1201.02, МС3105.02 и 15УЗПП16К×16-2.

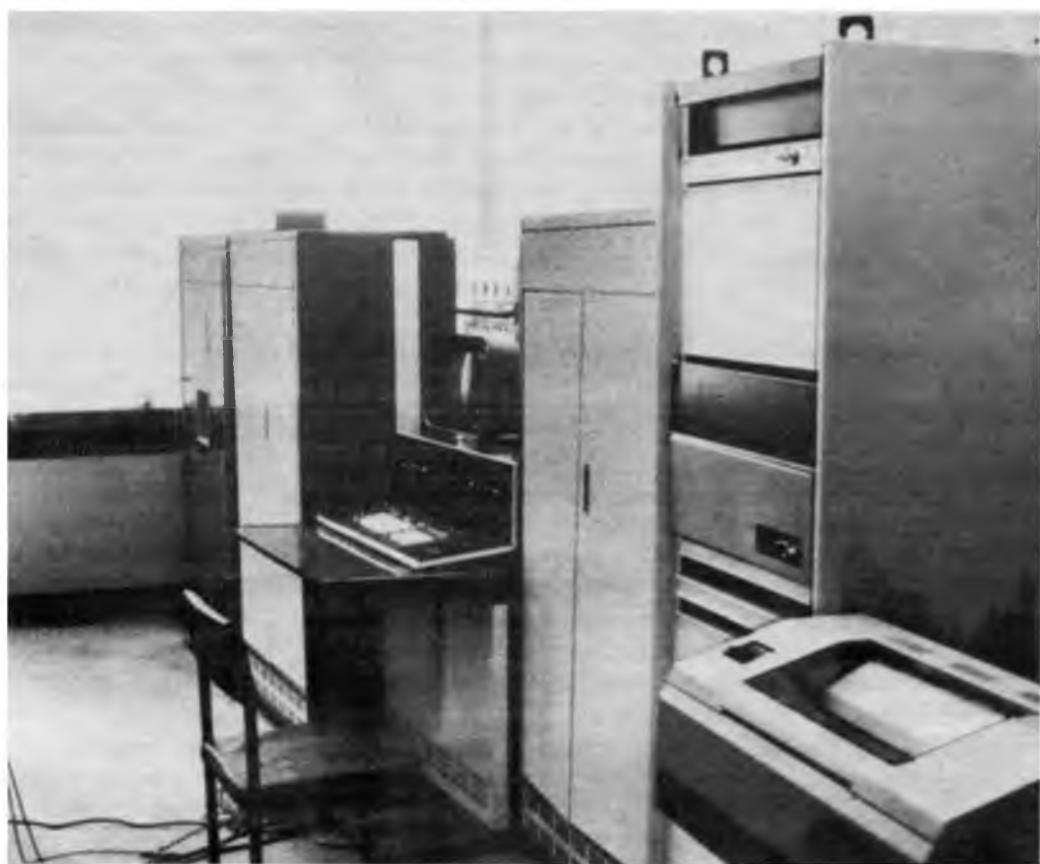
Канальные ЭВМ обеспечивают параллельное вычисление значений базовых элементов изображений теневых проекций, по которым центральная ЭВМ осуществляет стереологическую реконструкцию геометрических размеров и формы гранулы и вычисляет ее пространственные характеристики — средний проектированный диаметр и коэффициент несферичности [14]. Затем гранулы классифицируются по этим характеристикам путем определения принадлежности их значений к соответствующим заданным размерным интервалам, определяется их число и дозирование выборки.

После дифференциального контроля и классификации гранулы выборки поштучно попадают в блок сортировки, выполненный в виде сборного стального куба с пятью внутренними сквозными каналами, на боковых гранях которого расположены четыре заслонки с высокоэнергетическими магнитоэлектрическими приводами. При необходимости сортировки этот блок по команде центральной ЭВМ разделяет поток летящих гранул на пять групп, собираемых в отдельные приемные кассеты. При этом измеряется масса кондиционных гранул четырех кассет, расположенных на безрычажных электронных весах ВБЭ-1, в пятую кассету собираются некондиционные гранулы. Результаты взвешивания через адаптер сопряжения поступают в центральную ЭВМ, которая дозирует выборку гранул по заданной массе, после чего рассчитывает остальные характеристики контроля.

Задание режимов работы и централизованное электропитание установки осуществляются с пульта управления и регистрации, при этом для удобства пользователя обеспечивается диалоговый режим работы с оператором, а также автоматический контроль работоспособности и диагностики неисправностей. Характеристики контроля и служебная информация выводятся на дисплей и цифропечать.

Установка выполнена на базе конструктивов УТК ГОСТ 20504-75 (рис. 2). Технические решения, лежащие в ее основе, защищены восемью авторскими свидетельствами на изобретения. Основные технические характеристики следующие:

диапазон контроля среднего диаметра гранул, мкм . . .	400—1200
верхний предел основной погрешности контроля:	
среднего диаметра выборки гранул, мкм . . .	3
классификации гранул по среднему диаметру, мкм . . .	9
диапазон контроля коэффициента несферичности, отн.ед. . . .	1—1,3
верхний предел основной погрешности контроля:	
среднего коэффициента несферичности выборки гранул, отн.ед. . . .	0,03
классификации гранул по коэффициенту несферичности, отн.ед. . . .	0,05
число групп сортировки (с плавающими границами групп):	
по диаметру . . .	4
по коэффициенту несферичности . . .	2
верхний предел основной погрешности контроля	
средней толщины слоев покрытий, мкм . . .	3
предельная масса выборки гранул, г . . .	900
верхний предел основной погрешности контроля:	
массы выборки гранул, мг . . .	10
средней плотности выборки гранул, % . . .	1,0
производительность контроля, гранул/с . . .	23
доверительная вероятность контроля, %	95



Р и с. 2. Общий вид установки «Комби»

Установку «Комби» успешно использовали для контроля опытных партий гранулированного микротоплива ВТГР, изготовленного по разной технологии. Ее можно применять также для контроля гранулоподобных объектов другой физической природы.

Автор выражает благодарность Ю.И. Пахункову, Н.В. Куликову, А.Ю. Мочалову и А.М. Костареву за плодотворное сотрудничество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черников А.С., Кошелев Ю.В., Шокина З.А. и др. Вопросы изготовления и контроля качества микротоплива тазлов и ТВС для реакторов ВТГР. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Атомно-водородная энергетика и технология, 1980, вып. 1(6).
2. Wallish K., Koss P. Automatic size analysis of coated fuel particles. — Nucl. Techn., 1977, v. 35, № 2, p. 279—283.
3. Mack J., Pechin W. Automatic Particle Size Analysis of HTGR Recycle Fuel. ORNL-TM-5907, 1977, 24 p.
4. Патент США № 3477568.
5. Патент Великобритании № 1287193.
6. Доморацкий Е.П. Методы динамического контроля размеров и формы микроэлементов с реконструкцией по контурам теневых проекций. — Атомная энергия, 1993, т. 75, вып. 2, с. 132—138.
7. Доморацкий Е.П., Крейнцлин И.И., Мокленко И.Н. и др. Устройство для разделения частиц из смеси. А.с. СССР № 1177982, G21C19/00.
8. Доморацкий Е.П., Крейнцлин И.И., Куликов Н.В. и др. Устройство автоматического бесконтактного контроля геометрических параметров гранул. А.с. СССР № 1241820, G01B21/00.
9. Дианов И.Н., Доморацкий Е.П., Пахунков Ю.И. Оптико-электронный канал получения импульсных теневых изображений микроэлементов. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационная техника, 1990, вып. 3(43), с. 60—67.
10. Доморацкий Е.П., Дик П.А., Краснюк А.А. и др. Импульсный датчик изображения. — Там же, с. 68—72.
11. Дик П.А., Доморацкий Е.П., Краснюк А.А. и др. Устройство формирования сигнала изображения. А.с. СССР № 1297259, H04N5/335.
12. Доморацкий Е.П., Куликов Н.В. Следящий дискриминатор видеосигналов. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационная техника, 1993, вып. 1/2(48), с. 56—60.
13. Доморацкий Е.П., Пахунков Ю.И., Софрышев А.В. Устройство для ввода информации. А.с. СССР № 1508825, G06F13/00.
14. Доморацкий Е.П., Крейнцлин И.И., Мочалов А.Ю. Способ определения формы и размеров гранул. А.с. СССР № 1393054, G01N15/02.

Поступила в Редакцию 6.07.93

УДК 621.039

ЭЛЕКТРОЯДЕРНОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ТОРИЕВЫХ МИШЕНЯХ

Барашенков В.С., Соснин А.Н., Шмаков С.Ю. (ОИЯИ)

Электроядерное воспроизводство ядерного топлива может осуществляться не только в урановых, но и ториевых мишенях. При сравнении этих двух систем следует иметь в виду, что среднее число частиц, образующихся при взаимодействии высокоэнергетического нуклона с ядром тория, почти не отличается от множественности частиц в нуклон-урановом столкновении (около 25 частиц на одно неупругое нуклон-ядерное столкновение при энергии $T = 1$ ГэВ и около 20 частиц при 0,5 ГэВ [1]). Однако в области «реакторной энергии», $T < 10,5$ МэВ* сечение деления, следовательно, и число рождающихся нейтронов для тория значительно меньше, чем для урана. Поэтому можно заранее ожидать, что темп воспроизводства ядерного топлива в ториевой среде будет меньшим. Тем не менее он останется все же значительным. Кроме того,

* T — кинетическая энергия первичных протонов, t — кинетическая энергия вторичных частиц.