

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
А К Ц И О Н Е Р Н О Е О Б Щ Е С Т В О
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ —
ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени А.И. Лейпунского

ФЭИ-3317

**Р. М. Щепелев, Ю. Е. Колпаков,
Ф. С. Фещенко, Е. А. Акинтьева**

**КРИТИЧЕСКИЕ ЯДЕРНЫЕ СТЕНДЫ,
СОЗДАНЫЕ В АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ
РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

ОБНИНСК — 2025

Щепелев Р. М., Колпаков Ю. Е., Фещенко Ф. С., Акинтьева Е. А. Критические ядерные стенды, созданные в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» при разработке ядерных реакторов различного назначения: Препринт ФЭИ-3317. — Обнинск, АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», 2025. — 20 с.

Ключевые слова: критстенд, реактор, бокс, нейтронно-физические характеристики, архив.

В работе показан вклад Физико-энергетического института (ФЭИ) в разработку ядерных реакторов для создания источников энергии, используемых в различных объектах атомной энергетики. Для этой цели создавали критические ядерные стенды (критстенды), на которых экспериментально определяли нейтронно-физические характеристики материалов, необходимых при разработке проектов ядерных реакторов.

В результате проведённого анализа большого количества документов архива и опроса работников ФЭИ выявлены действовавшие критстенды, их назначение, годы приёмки в эксплуатацию и вывода из эксплуатации. Определены здания, на которых в боксах размещались критстенды. Результаты анализа представлены в Перечне критических ядерных стендов ФЭИ.

В работе впервые показано, что за первые полвека деятельности в ФЭИ было создано не менее 72 критстендов. На трёх из них продолжают научные исследования.

Работа рассчитана на учёных, инженеров, студентов, интересующихся вкладом ФЭИ в историю создания в России объектов использования атомной энергии.

В этой работе впервые предпринята попытка составить перечень действовавших в Акционерном обществе «Государственный научный центр Российской Федерации — Физико-энергетический институт имени А. И. Лейпунского» (далее – ФЭИ) критических ядерных стендов (далее — критстенды) с указанием их назначения, места размещения и временного интервала эксплуатации.

В настоящее время в институте эксплуатируются критстенды БФС-1, БФС-2 и ФС-1М. Ранее действовавшие критстенды выведены из эксплуатации; здания, в которых они размещались, используются по другому назначению. Более 60 % критстендов выведены из эксплуатации до 1980 года. Мало осталось работников, которые могут вспомнить и рассказать об уникальных научных экспериментах, проводимых на критстендах ФЭИ на начальном этапе развития атомной энергетики в стране. В имеющихся в институте архивных документах и в выпущенных учёными ФЭИ книгах, статьях и публикациях в журналах нет полного описания количественной оценки действовавших критстендов.

В изданной в 2016 г. книге «Исследовательские ядерные установки государств — участников Содружества Независимых Государств» на стр. 139 указано, что в ФЭИ эксплуатировались 22 критических стенда, а в таблице на стр. 140 приведены только 17 критстендов с указанием их некоторых характеристик.

Практическая деятельность ФЭИ с момента его создания в 1946 г. была направлена на разработку реакторов в различных областях использования атомной энергии для:

- блоков АЭС на тепловых нейтронах и на быстрых нейтронах с различными теплоносителями;
- транспортабельных атомных станций;
- подводных лодок с водяным и со свинцово-висмутовым теплоносителями;
- ядерных реактивных двигателей;
- космических ядерных энергетических установок;
- летательных аппаратов.

Для проектирования реакторной установки закладывались исходные данные, полученные расчётным путём и проверенные в результате экспериментальных исследований. Данные по нейтронно-физическим характери-

кам конструкционных материалов и сред, используемых в реакторе, возможно было получить только после проведения их исследования в нейтронных полях.

Управляемые нейтронные поля создаются в исследовательской ядерной установке (ИЯУ), в составе которой предусмотрен исследовательский ядерный реактор или критический ядерный стенд, или подкритический ядерный стенд и комплекс помещений, систем, элементов и экспериментальных устройств с необходимыми работниками (персоналом), располагающейся в пределах определённой проектом территории (площадки), предназначенной для использования нейтронов и ионизирующего излучения в исследовательских целях.

Критический ядерный стенд — ИЯУ, в составе которой используется критическая сборка. Критическая сборка — это устройство для экспериментального изучения характеристик и параметров размножающей нейтронной среды, состав и геометрия которой позволяют осуществить управляемую ядерную реакцию деления, эксплуатируемое на мощности, не требующей принудительного охлаждения среды и не оказывающей влияния на её нейтронно-физические характеристики.

Приведенные определения указаны в НП-033-11 «Общие положения обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок».

Другими словами, можно сказать, что целью создания критической сборки (далее – критсборка) является моделирование активной зоны реактора определённого назначения и получение экспериментальных данных о её нейтронно-физических характеристиках для верификации метода их расчёта.

В ФЭИ с 1953г. начали интенсивно проводиться работы по разработке и сооружению критических ядерных стендов. На критстендах проводили исследования нейтронно-физических характеристик ядерного топлива, замедлителей, поглотителей, отражателей, теплоносителей, конструкционных материалов и других компонентов для создания ядерных установок, разрабатываемых с участием ФЭИ объектов, указанных выше, а также установок, разрабатываемых другими организациями.

В данной работе перечень критических ядерных стендов определяли на основании документов архива ФЭИ и опроса специалистов.

Основным источником для составления перечня критстендов послужили документы:

- чертежи стендов, приказы о сооружении и о приёме в эксплуатацию стендов, о создании комиссий по проверке готовности их к работе;
- производственно-технический паспорт института 1972 года.

Некоторые сведения о критстендах ФЭИ содержатся в книгах:

Государственный научный центр Российской Федерации Физико-энергетический институт имени академика А.И. Лейпунского — 50 лет / Б.Ф. Громов (ответственный редактор), М.Ф.Троянов (главный редактор), Ю.Б. Алферов, А.И. Дитюк. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1996, 560 с.: ил.;

Пупко, В. Я. «История работ по летательным аппаратам на ядерной энергии для космических и авиационных установок в ГНЦ РФ – ФЭИ» / изд. 2-е, дополненное. — Обнинск, ФЭИ, 2002.

Критстенды проектировали конструкторы ФЭИ и изготавливали в опытном производстве института. Критстенды размещались в боксах с биологической защитой, сооружённых в специально построенных зданиях с номерами: 20 (1 бокс), 127 (2 бокса), 129 (2 бокса), 166 (2 бокса), 168 (1 бокс), 169 (3 бокса), 169А (3 бокса), 215 (3 бокса), 217 (4 бокса), а также в сооружении ПС АНГАР, в центральном зале здания 75, в исследовательской камере здания 105 и в здании 224. Критстенд АМФ, как модель реактора Первой в мире АЭС, был создан в главном корпусе, на котором 03.03.1954 была осуществлена первая в ФЭИ управляемая цепная реакция деления ядер урана. Потребность получения экспериментальных данных была настолько велика, что в некоторых случаях в одном боксе размещали одновременно по два критстенда.

До 1980 г. действовало определение «стенд» как для объектов, в которых может быть создана цепная реакция деления, так и для объектов, в которых она не может быть осуществлена (теплофизические, материаловедческие и другие стенды). Это создавало дополнительные трудности в поисках документов на критстенды.

Комплекты чертежей или отдельные чертежи были найдены на большинство стендов. На чертежах указана дата их разработки. Это служило ориентиром для определения даты создания стенда. В те времена от выпуска проекта до изготовления стенда проходило не более двух лет, а зачастую всего год.

Большинство чертежей на стенды выпущено без привязки к конкретному зданию. Не указано, для каких целей он создаётся. На чертежах записаны названия стенда только в виде букв и цифр, например, «Стенд

С-3Ф-2А». В большинстве комплектов чертежей на стенд отсутствует техническое задание (ТЗ) на его разработку, в котором обычно указывается направление исследований. ТЗ подписывается, как правило, руководителем подразделения, в ведении которого находится здание, где планируется размещение стенда. По этому признаку определяли размещение некоторых критстендов в зданиях.

Были выявлены приказы на сооружение нескольких стендов, в которых указаны годы их создания, место размещения и цель исследований. Как правило, назначение стенда указывалось в терминологии того времени, например «исследование нейтронно-физических характеристик реакторов ВМ-8М». В приказах на пуск стендов указывались его аббревиатура и дата приёма в эксплуатацию. В этих приказах редко указывалось место размещения стенда, а его назначение даже не упоминалось. В приказах о создании комиссий по проверке готовности конкретного стенда к работе определялся её состав и указывалась аббревиатура стенда. Председателем комиссии назначался руководитель подразделения, в ведении которого находилось здание, где размещался стенд. В некоторых приказах имелись неточности. Так в приказе от 1982 г. «О назначении начальников стендов» указан как действующий стенд В-1, который создавался на здании 217, но в эксплуатацию не был принят.

В некоторых случаях в документах критические сборки записывались как самостоятельные критстенды. Реально на многих критстендах эксперименты выполняли на нескольких критсборках. Так на критстенде РФ-ГС исследования проводили на четырёх критических сборках. А на критстенде БФС-1 за 64 года его эксплуатации эксперименты проводили на 79 критических сборках.

В Производственно-техническом паспорте института 1972 года приведены данные по девяти стендам, действовавшим на момент разработки паспорта в 16 и 19 отделах. Здесь указаны годы их ввода в эксплуатацию и здания, в которых они размещены. Назначение стендов не отражено.

Сопоставляя и анализируя сведения из разных документов, годы ввода в эксплуатации некоторых критстендов определены с точностью до 1 года.

Состав активной зоны, тип топлива, замедлитель, отражатель, нейтронные поля (тепловые, промежуточные, быстрые) в той или иной мере указывались для многих стендов в рассмотренных документах. В указанных выше книгах приведены сведения о решённых научных и инженерных задачах в

деятельности института по разработке ядерных реакторов для различных объектов использования атомной энергии. Подчёркнуто, при решении каких задач в ФЭИ проводились экспериментальные исследования на критстендах. В некоторых разделах книг зафиксировано, на каких критстендах проводились эксперименты для разработки реакторов в конкретных областях использования атомной энергии. По этим данным и информации, сообщённой работниками ФЭИ, определено назначение критстендов.

Особенно большие трудности возникли с определением года вывода из эксплуатации критстендов, которые в рассмотренных документах практически не указывались. Не удалось найти другие документы, однозначно определяющие дату прекращения работы стендов, эксплуатировавшихся до 1980 года. Год вывода из эксплуатации многих стендов определяли по косвенным данным, и, следовательно, он не является точным. Так, на здании 166 было два бокса с биологической защитой, в которых с 1954 по 1963 годы проводили эксперименты на 15 критстендах. Новые стенды создавали фактически ежегодно. Следовательно, для их размещения нужно было демонтировать располагавшийся в боксе предыдущий стенд или размещать в боксе по два стенда. При этом критстенд ПФ-4 эксплуатировался на здании с 1957 по 1973 годы, то есть один бокс был занят. И, скорее всего, в этом же боксе с 1960 по 1967 годы размещался критстенд ПФ-3. А в боксе, в котором ПФ-3 работал с 1956г., создали в 1959 году критстенд ЕФ и в этом же боксе в 1960 году разместили критстенд ЕН. Поэтому годы вывода из эксплуатации критстендов, располагавшихся в здании 166, определены оценочно. Аналогичная ситуация была при определении года вывода из эксплуатации критстендов, действовавших в зданиях 169 и 169А.

Результаты проведенной работы отражены в Перечне критических ядерных стендов ФЭИ. Следует отметить, что перечень нельзя считать полным, так как при его составлении авторы не использовали документы о НИОКР, которые составляют огромный массив архива.

Таким образом, в данной работе показано, что за первые полвека работы в ФЭИ было создано не менее 72 критстендов.

Критстенды — это сложные инженерно-технические объекты. Зачастую они размещались на двух этажах специально построенных зданий. Критическую сборку размещали в боксе, пол, стены и потолок которого толщиной от 1,0 до 1,5 м выполнены из тяжёлого бетона плотностью до 2,4 т/м³ и

двери металлические или железобетонные толщиной до 30 см обеспечивали биологическую защиту для персонала от ионизирующего излучения.

В каждом критстенде в одном из помещений сооружалось хранилище топлива. В нём хранились ядерные материалы в твёрдом виде в специальных конструкциях или в жидком виде в ёмкостях.

Для надёжной и безопасной работы критстенда в здании сооружались инженерные системы: электроснабжения, спецвентиляции, сбора РАО, общеобменной вентиляции, отопления, горячего и холодного водоснабжения, сантехническая.

Управление критстендом осуществляют из расположенного рядом с боксом помещения пультовой, в котором размещались пульт оператора и щит оператора.

С пульта оператора управляют уровнем мощности критической сборки, величиной периода удвоения мощности, вводимой реактивностью, перемещением пускового источника нейтронов и другими параметрами состояния критсборки и осуществляют сброс аварийной защиты в экстренном случае.

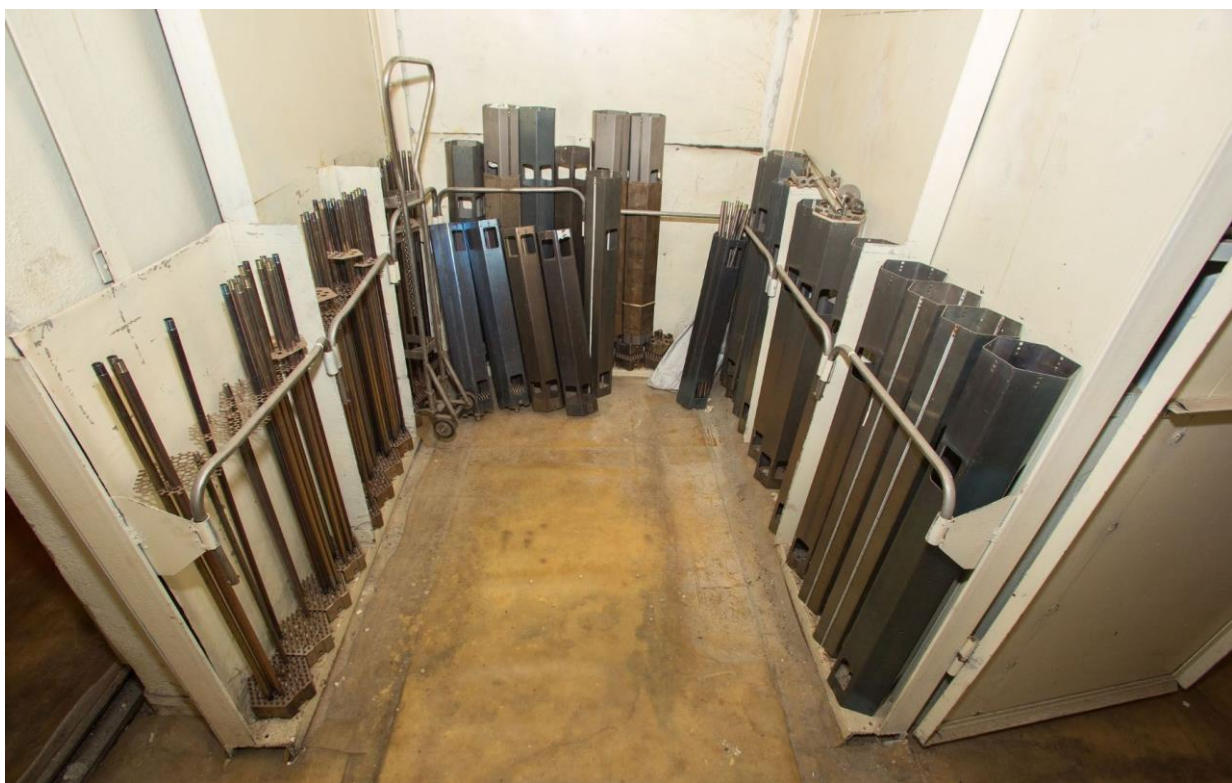
Со щита оператора управляют оборудованием, инженерными системами, входящими в состав критстенда и экспериментальными устройствами.

На пульт и щит оператора выведены показания всех контрольно-измерительных приборов и указателей, предусмотренных проектом, для безопасной эксплуатации критстенда, включая аварийную и предупредительную сигнализации.

В качестве примера ниже приведены фотографии критстенда МАТР-2, который эксплуатировался на здании 169 с 1962 по 2018 годы.



Помещение пультовой



Помещение хранилища ЯМ



Помещение насосов



Помещение бокса критстенда на отм. 0,000. Крышка критсборки



Помещение бокса критсенда на отм. -3,000. Критсборка

Помощь в подготовке данной работы оказали ныне работающие специалисты института, а также ушедшие на заслуженный отдых: Богомоллов Валерий Николаевич, Быковский Валентин Силантьевич, Двухшерстнов Владимир Георгиевич, Дьяченко Пётр Петрович, Евтюхов Константин Юрьевич, Киргетова Ольга Юрьевна, Мешакин Владимир Иванович, Мосин Сергей Иванович, Молчанов Юрий Васильевич, Платонова Ирина Фёдоровна, Поплавко Валерий Яковлевич, Сторчило Нина Сергеевна, Фролов Юрий Викторович.

Перечень критических ядерных стенов ФЭИ

№ п/п	Наименование	Назначение	Размеще ние, здание	Год ввода в эксплуа- тацию	Год вывода из эксплуа- тации
1	2	3	4	5	6
1	Установка АМФ	Уран-графитовый имитатор активной зоны реактора Первой АЭС	ГК	03.03.1954	1954
2	ПНТФ	Реактор на промежуточных нейтронах. Реконструкция в 1957 году	20, корпус К	1954	1958
3	РИЗ	Реактор для испытания защит. Замедлитель — вода	20, корпус К	1961	1973
4	(не опреде- лено)	Исследование характеристик реактора стенда 27/ВМ. Изучение влияния новой компенсирующей решётки	75	1957	1957
5	СТК	Стенд технологических каналов для исследования отработанных каналов второй кампании реактора 27/ВМ	75, хранили- ще № 2	1962	1963
6	ПС	Изучение рассеивания излучения от воздуха, земли и конструкций летательных аппаратов	Сооруже- ние ПС, Ангар	1960	1965
7	К-2	Исследования в подкритическом режиме с растворами уранилнитрата высокого обогащения	105	1958	1959
8	БЭС-5ф (БЭС-5ф-3 критсборка)	Стенд физсборки реактора БЭС-5 на промежуточных нейтронах. Исследование характеристик реакторов БУК	127, бокс 2	1962	1963

1	2	3	4	5	6
9	ТЭУ-5Ф/1, (Т-1)	С гидрициркониевым замедлителем. Исследования реакторов ТЭУ-5 («Тополь»)	127, бокс 1	1963	1965
10	Аквариум	Гетерогенный, замедлитель — вода. Исследования характеристик реакторов ТЭУ-5	127, бокс 2	1963	1974
11	УФ (УКС-1 критсборка)	Гомогенный для исследования реакторов БУК. Критсборка УКС-1 с 1981 г.	127, бокс 1	1965	1984
12	В-1М	Для исследования реакторов космических аппаратов	127, бокс 2	1982	1995
13	УКС-1М	Реакторы установок для космоса. Моделирование работы ОКУЯН	127, бокс 1	1985	1995
14	БФС-1	Быстрый физический стенд	129	1961	работает
15	БФС-2	Большой физический стенд	129	1969	работает
16	ПФ	Промежуточный физический. Исследования для создания реакторов на промежуточных нейтронах	166	1954	1955
17	ПФ-2	Исследования реакторов 27/ВТ со свинцово-висмутовым теплоносителем проекта 645	166	1955	1956
18	ПФ-3 (ПФ-3А, ПФ-3Б критсборки)	Исследования для создания реакторов ядерных реактивных двигателей (ЯРД). Реконструирован в 1960 г.	166	1956	1967
19	ПФ-4	Исследования реакторов для АПЛ с различными активными зонами и летательных аппаратов типа ЖМ-2. Доработка стенда в 1960 г.	166	1957	1983

1	2	3	4	5	6
20	ПФ-5	Исследования для реакторов ЯРД большой тяги. В 1960 г. реконструирован (замедлитель LiH)	166	1959	1961
21	ПФ-6	Исследования реакторов для ЯРД. Замедлитель и отражатель — бериллий	166	1962	1963
22	ПФ-8	Исследования реакторов ЯРД	166	1962	1962
23	ПФ-9	Исследования реакторов ЯРД	166	1963	1964
24	Ф	Физические исследования реакторов для атомных подводных лодок (АПЛ). С 1963 г. модель реактора проекта 705	166	1956	1965
25	Ф-2	Критстенд физборки реактора установки 27/ВТ для АПЛ со свинцово-висмутовым теплоносителем	166	1958	1959
26	Ф-4	Физические исследования реактора установки 27/ВТ второй кампании	166	1962	1964
27	Ф-5	Физические характеристики реакторов проекта 705	166	1963	1964
28	ЕФ	Физика малогабаритных реакторов на быстрых и промежуточных нейтронах для космоса	166	1959	1962
29	ЕН	Физика малогабаритных реакторов на медленных нейтронах для космоса	166	1960	1962
30	Грот-1	Исследования реакторов для космических двигателей (ЯРД). После реконструкции ПФ-6 в 1963 г.	166	1963	1973

1	2	3	4	5	6
31	БР-1 (БФ-1), (ЛО, БР-3 критсборки)	Первый критстенд в России на быстрых нейтронах. Обоснование создания реакторов на быстрых нейтронах	168	1955	2010
32	ТЭС-Ф	Анализ физических характеристик реакторов для создания транспортабельных АЭС	169	1956	1957
33	ТЭС-3 (ТЭС-3ф-2 критсборка)	Критстенд исследования реакторов для создания АЭС ТЭС-3	169	1958	1959
34	С-3Ф-2А	Исследования для создания ТЭС-3. Холодный стенд	169, бокс 1	1958	1960
35	ТЭС-3Ф-Г (С-3Ф-Г, С-3 критсборки)	Исследования для создания ТЭС-3. Горячий стенд	169	1959	1961
36	БС-0	Для исследования бериллия	169, бокс 1	1959	1960
37	АМБФ-1	Атом мирный большой физический. Исследования для Белоярской АЭС	169, бокс 1	1960	1965
38	ФГ	Физический горячий. Характеристики реакторов типа ОК-550, БМ-40А, ВТ-10	169, бокс 3	1961	1963
39	ФС (РМ-1 критсборка)	Для анализа характеристик реакторов типа РМ-1 (для АПЛ)	169	1962	1963
40	ВМ-8М-ФГ	Многоцелевой. Физический горячий. Для реакторов типа ВМ-8М (для АПЛ) и ТЭС-3	169, бокс 2	1962	1963

1	2	3	4	5	6
41	ВМ-8М-ФХ	Многоцелевой. Физический холодный. Перенесен в 1962 г. в зд.169 из зд.169А	169, бокс 3	1962	1963
42	МАТР-2	Исследование реакторов малой энергетики	169, бокс 3	1963	2018
43	УГС	Универсальный горячий стенд (вода) для АПЛ	169, бокс 1	1963	1964
44	Стенд «Р»	Водо-водяной. Для оценки НФХ реакторов типа РИТМ	169, бокс 2	1963	1968
45	ИР-20	Исследования физических характеристик реактора ИР-20	169	1963	1965
46	РИТМ	Замедлитель — вода или тяжёлая вода. Исследования физических характеристик реакторов типа РИТМ	169, бокс 2	1970	1978
47	КОБР	Кольцевой осцилляторный быстрый реактор	169, бокс 1	1970	1985
48	В-0-2	Для набора критмасс блоками различных размеров и обогащения	169А	1959	1960
49	Установка № 3 (графитовый стенд)	Уран-графитовый реактор с нагревом до 500 °С	169А, бокс 2	1959	1961
50	В-3 (В-3Ф, В-3Ф-1 критсборки)	Для исследования водо-водяных реакторов установки В-3	169А, бокс 2	1960	1962
51	В-2	Газофазный реактор	169А, бокс 1	1960	1961

1	2	3	4	5	6
52	ГС (ГС-1 критсборка)	Эксперименты с компенсирующими решетками, стержнями, нейтронными ловушками	169А	1961	1964
53	ВМ-8М-ФХ	Многоцелевой. Физический холодный. Вода до 90 °С. Исследования для реакторов типа ВМ-8М (для АПЛ) и ТЭС-3	169А, бокс 1	1961	1962
54	В-0-3	Замедлители и отражатели: вода, графит, парафин, дерево	169А, бокс 2	1962	1963
55	РФ – ГС (РФ-1 критсборка)	Растворный физический — гомогенный стенд. Азотнокислые растворы урана	169А, бокс 1	1962	2012
56	Э-30	Реакторы на быстрых нейтронах для космических ЯЭУ с паротурбинным циклом на парах калия	169А, бокс 2	1964	1965
57	АМБФ-2	Атом мирный большой физический. Исследования для Билибинской АТЭЦ. Перенесен в 1966 г. АМБФ-1 со здания 169	169А, бокс 2	1966	1970
58	АМБФ-2-1600	Для изучения НФХ реакторов различного назначения	169А, бокс 3	1984	2017
59	ФГ-5	Исследование для АПЛ (свинец-висмут). Перенесен стенд ФГ из здания 169	215, бокс 1	1968	2007
60	Стрела	Исследования реакторов для ЯРД	215, бокс 2	1968	2010
61	СГО	Исследования реакторов для АПЛ	215, бокс 3	1969	2008

1	2	3	4	5	6
62	Грот-2	Тепловой реактор с газофазной активной зоной для ЯРД. Замедление нейтронов в отражателе	215, бокс 2	1974	1982
63	Т-2	Исследование реакторов космической ЯЭУ «Топаз»	217, бокс 3	1965	2000
64	ПС-2	Подвесной стенд располагался в здании 217 и на площадке 240 (Ангар). Исследования по радиационной защите летательных аппаратов	217, бокс 1	1966	2005
65	БЭС-5ц (БЭС-5ц/3, БЭС-5 ц/ф критсборки)	Исследования реакторов на тепловых нейтронах для установки БУК	217, бокс 2	1965	1968
66	БУК-Ц (БУК-Ц-3 критсборка)	Физика реакторов на тепловых нейтронах для установки БУК	217, бокс 2	1980	1983
67	ФС-1, ФС-2	Для характеристик реакторов «Топаз». Реконструкция в 1973 г. ФС-1 в ФС-2	217, бокс 4	1970	1988
68	К-1	Изучение характеристик реакторов для космоса	217, бокс 2	1988	1998
69	ФС-1М	Изучение реакторов для космоса. После реконструкции ФС-2 в 1989 г.	217, бокс 4	1989	работает
70	КСФС	Критстенд стапеля физической сборки	224, центральный зал	1966	консервация

1	2	3	4	5	6
71	КСОС	Критстенд стапеля общей сборки	224, центральный зал	1966	консервация
72	КС-ГТЦ	Изучение нейтронно-физических характеристик реакторов для космоса	224	1976	1983

Подписано к печати 19.12.2025.
Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Усл. п. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,7.
Тираж 58 экз. Заказ № 342.

Отпечатано в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» методом прямого репродуцирования
с оригинала авторов.
249033, Обнинск Калужской обл., пл. Бондаренко, 1.