

М. Х. Гашев<sup>1</sup>, А. В. Григораш<sup>1</sup>, А. В. Долотов<sup>1</sup>,  
А. В. Носовский<sup>2</sup>, А. М. Дыбач<sup>2</sup>,  
А. И. Бережной<sup>2</sup>, А. В. Кухоцкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственная инспекция ядерного регулирования  
Украины, г. Киев, Украина

<sup>2</sup>ГП «Государственный научно-технический центр по  
ядерной и радиационной безопасности», г. Киев, Украина

## Вопросы лицензирования ядерной подкритической установки «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой линейным ускорителем электронов»

Рассмотрены вопросы лицензирования (включая вопросы разработки нормативно-правовой базы по ядерной и радиационной безопасности ЯПУ и проведения экспертизы обосновывающих безопасность материалов) нового типа исследовательской ядерной подкритической установки, проектирование и сооружение которой осуществляются в настоящее время Национальным научным центром «Харьковский физико-технический институт». Представлены основные проектные характеристики конструктивных элементов источника нейтронов.

*Ключевые слова:* ядерная подкритическая установка, источник нейтронов, подкритическая сборка.

**М. Х. Гашев, О. В. Григораш, А. В. Долотов, А. В. Носовский,  
О. М. Дибач, А. И. Бережной, О. В. Кухоцкий**

**Питання ліцензування ядерної підкритичної установки  
«Джерело нейтронів, засноване на підкритичній збірці,  
що керується лінійним прискорювачем електронів»**

Розглянуто питання ліцензування (охоплюючи питання розробки нормативно-правової бази з ядерної та радіаційної безпеки ЯПУ і проведення експертизи обґрунтовуючих безпеку матеріалів) нового типу дослідницької ядерної підкритичної установки, проектування та спорудження якої здійснюються в даний час Національним науковим центром «Харківський фізико-технічний інститут». Наведено основні проектні характеристики конструктивних елементів джерела нейтронів.

*Ключові слова:* ядерна підкритична установка, джерело нейтронів, підкритична збірка.

© М. Х. Гашев, А. В. Григораш, А. В. Долотов, А. В. Носовский,  
А. М. Дыбач, А. И. Бережной, А. В. Кухоцкий, 2013

Национальным научным центром «Харьковский физико-технический институт» (ННЦ ХФТИ) при поддержке Аргонской национальной лаборатории (США) осуществляется деятельность по сооружению ядерной подкритической установки «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой линейным ускорителем электронов» (далее — ЯПУ «Источник нейтронов»). ЯПУ «Источник нейтронов» представляет собой совершенно новый тип ядерных установок, в которых интенсивность протекания ядерной реакции деления изотопа  $^{235}\text{U}$  в активной зоне управляется ускорителем электронов. Международная классификация МАГАТЭ таких установок — ADS-системы (Accelerator Driven Systems).

ЯПУ «Источник нейтронов» предназначен для исследования подкритических систем, генерации нейтронов и использования их в прикладных и фундаментальных научных исследованиях, а также для подготовки специалистов в области использования ядерной энергии.

В соответствии со статьей 1 Закона Украины «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности» [1], ЯПУ «Источник нейтронов» является ядерной установкой, что определяет необходимость выполнения всего комплекса мероприятий по оценке его безопасности и лицензированию. В данной статье рассмотрены вопросы лицензирования ЯПУ «Источник нейтронов», включая вопросы разработки нормативно-правовой базы по ядерной и радиационной безопасности ЯПУ и проведения экспертизы обосновывающих безопасность материалов. При подготовке статьи использованы разработанные ННЦ ХФТИ материалы технико-экономического обоснования [2], проекта [3] и предварительного отчета по анализу безопасности ЯПУ «Источник нейтронов» [4].

**Проектные характеристики ЯПУ «Источник нейтронов».** По данным МАГАТЭ, в настоящее время в мире эксплуатируется 246 исследовательских ядерных реакторов, из них всего 13 являются подкритическими установками [5]. Исследовательские установки такого типа планируются к строительству в Бельгии, Китае и других странах.

В ядерных подкритических установках получение интенсивного потока нейтронов основано на принципе размножения первичных фотонейтронов в среде из делящегося материала. Геометрия среды и масса делящегося материала выбраны таким образом, чтобы эффективный коэффициент размножения нейтронов  $k_{\text{эфф}}$  при любых исходных событиях оставался меньше 1 ( $k_{\text{эфф}} < 1$ ). Такое решение гарантирует ядерную безопасность исследовательской установки. В этом состоит принципиальное отличие и преимущество разрабатываемой ЯПУ от исследовательских ядерных реакторов, работающих в режиме самоподдерживающейся цепной реакции деления (СЦР).

ЯПУ «Источник нейтронов», разрабатываемая ННЦ ХФТИ, функционально состоит из следующих основных элементов: подкритической сборки (ПКС) на тепловых нейтронах с радиационной защитой; нейтронообразующей мишени (НОМ) для получения первичных (внешних) нейтронов, которая располагается внутри активной зоны ПКС; линейного ускорителя электронов (ЛУЭ) с каналом транспортировки пучка электронов и сканирующим устройством; источника холодных нейтронов (ИХН); пульта контроля режимов и управления работой установки; экспериментальных нейтронных каналов для ядерно-физических исследований; систем инженерно-технического обеспечения работы установки в целом (рис. 1).

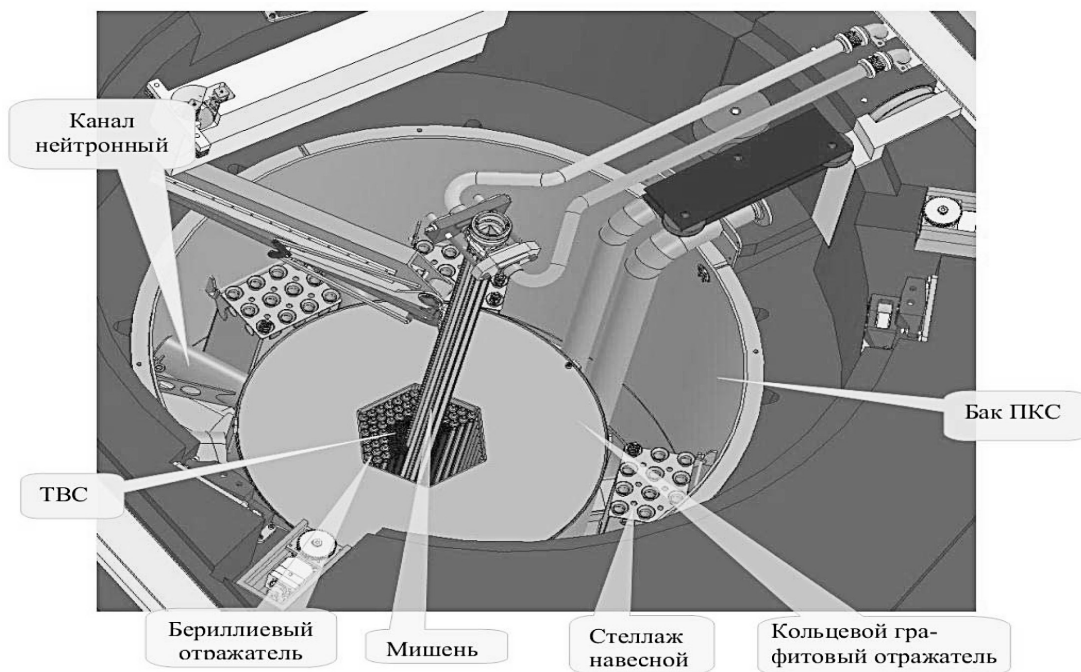


Рис. 1. Компонка активной зоны подкритической сборки ЯПУ «Источник нейтронов»

Принцип получения нейтронов в ЯПУ «Источник нейтронов» основан на размножении первичных нейтронов внешнего источника в среде из делящегося ядерного материала. В данной установке используется низкообогащённый уран с содержанием 19,7 % изотопа  $^{235}\text{U}$ . Состав и геометрические характеристики активной зоны ПКС обеспечивают значение эффективного коэффициента размножения нейтронов не выше нормативного — 0,98 ( $k_{\text{эфф}} < 0,98$ ). Таким образом, самоподдерживающаяся цепная ядерная реакция деления  $^{235}\text{U}$  не может возникнуть в активной зоне ПКС ЯПУ «Источник нейтронов».

Источником внешних нейтронов служит НОМ из металлического вольфрама или природного урана, помещённая в центре активной зоны ПКС между топливными сборками. Механизм эмиссии нейтронов из мишени основан на  $(\gamma, n)$ -реакции, которая возникает при её облучении жёстким  $\gamma$ -излучением с энергией  $\gamma$ -квантов, превышающей энергию связи нейтронов в ядрах мишени (8...10 МэВ). Такое  $\gamma$ -излучение (*тормозное  $\gamma$ -излучение*) генерируется при торможении электронов высоких энергий (более 10 МэВ) в материале из тяжёлых химических элементов. Для получения электронов с энергией 100 МэВ, средним током 1 мА и мощностью пучка 100 кВт используется ЛУЭ.

Для передачи пучка электронов от ЛУЭ до ПКС, которые пространственно разнесены, используется вакуумированный канал транспортировки электронов с элементами магнитной оптики, обеспечивающими фокусировку пучка, изменение направления, формирование необходимых размеров области облучения мишени.

Для использования нейтронов, образующихся в ПКС при работе ЛУЭ, применяется комплекс экспериментального оборудования, предназначенный для исследований в области радиационного материаловедения, нейтронографии, производства медицинских радиоизотопов. Этот комплекс состоит из защитных камер с устройствами для физико-механических испытаний и анализа свойств материалов, радиохимического выделения требуемого радионуклида из облучённых образцов, кассеты с облучаемыми образцами для размещения

в ПКС, защитного контейнера для транспортировки кассет после облучения от ПКС в защитные камеры. К данному комплексу также относится оборудование для нейтронографических исследований, которое включает шесть каналов для вывода тепловых нейтронов из объёма ПКС в экспериментальные устройства. Один из каналов предназначен для получения «холодных» нейтронов с эффективной температурой 20 К.

Нормальная работа оборудования основной технологической цепочки получения и использования нейтронов осуществляется с помощью вспомогательных контролируемых и обеспечивающих системы. Проектом предусмотрена автоматизированная система контроля и управления (АСКУ) ЯПУ «Источник нейтронов». АСКУ осуществляет контроль состояния систем установки, управляет режимом работы, диагностирует сбои и отказы оборудования, выход параметров за пределы уставок, представляет соответствующую информацию оператору, производит необходимые отключения в соответствии с заданным алгоритмом и срабатыванием блокировок. Также предусмотрена автоматизированная система радиационного контроля (АСРК), являющаяся составной частью АСКУ. АСРК функционирует независимо от остальных систем как при работе установки, так и в состоянии останова (регламентных, ремонтных и др.).

Загрузка свежих ТВС в ПКС в соответствии с картограммой, выгрузка отработанных ТВС, загрузка и выгрузка кассет с облучаемыми образцами и ампулами, перестановка ТВС в процессе выгорания, загрузка блоков бериллиевого отражателя производятся перегрузочной машиной. Для хранения отработанных ТВС и мишеней служит бассейн выдержки (БВ) ОТВС и мишеней, который расположен в экспериментальном зале. Перемещение ОТВС и мишеней от ПКС в БВ осуществляется мостовым краном в специальных защитных контейнерах.

Для съёма тепла, выделяющегося в технологическом оборудовании при работе ЯПУ, используется несколько двухконтурных систем охлаждения: подкритической сборки (250 кВт), мишени (100 кВт), канала транспортировки

Таблица 1. Сравнение ЯПУ «Источник нейтронов» с исследовательскими реакторами Украины и подкритическими системами других стран

Установка	Режим работы	Поток нейтронов	Мощность, кВт	Спектр нейтронов
ЯПУ «Источник нейтронов», ННЦ ХФТИ (г. Харьков)	Подкритический, $k_{эфф} < 0,98$	Импульсный	250	Тепловые и холодные нейтроны
Исследовательский реактор ВВР-М, ИЯИ (г. Киев)	Критический, $k_{эфф} \approx 1$	Непрерывный	10000	Тепловые нейтроны
Учебно-исследовательский реактор ИР-100, СНУЯЭиП (г. Севастополь)	Критический, $k_{эфф} \approx 1$	Непрерывный	200	Тепловые нейтроны
Подкритическая сборка «Ялина-Тепловая» (Беларусь)	Подкритический, $k_{эфф} < 0,98$	Импульсный	0	Тепловые нейтроны
Подкритическая сборка «Ялина-Бустер» (Беларусь)	Подкритический, бустерная зона — $k_{эфф} = 0,60$ ; тепловая зона — $k_{эфф} = 0,95$	Импульсный	0	Быстрые и тепловые нейтроны
Подкритическая сборка VENUS-1 (Китай)	Подкритический, $k_{эфф} = 0,90...0,98$	Импульсный	0	Тепловые нейтроны
Исследовательский реактор MASURCA (Франция)	Критический или подкритический, $k_{эфф} = 0,95...1$	Импульсный	<5	Быстрые и тепловые нейтроны
Подкритический стенд GUINEVERE (Бельгия)	Критический или подкритический	Импульсный	0	Быстрые нейтроны
Подкритическая сборка, управляемая генератором нейтронов (Индия)	Подкритический, $k_{эфф} = 0,873$	Импульсный	0	Тепловые нейтроны

(50 кВт) и ЛУЭ (985 кВт). Система охлаждения ЛУЭ включает три подсистемы водяного охлаждения. Вентиляторные градирни вторых контуров систем охлаждения обеспечивают рассеивание тепла в окружающей среде.

Неотъемлемой частью ЯПУ «Источник нейтронов» является радиационная (биологическая) защита персонала от источников ионизирующих излучений. Наиболее мощными источниками излучений при работе установки являются ПКС ( $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения, нейтроны) и ЛУЭ (тормозное  $\gamma$ -излучение,  $\beta$ -излучение, фотонейтроны). При выключенной установке — это  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения, создаваемые активированными элементами ПКС, ЛУЭ, канала транспортировки, ОТВС и мишенями, твёрдыми и жидкими радиоактивными отходами, образующимися в технологическом цикле получения и использования нейтронов. Конструкция биологической защиты состоит из трех частей: радиальной биологической защиты (тяжелый бетон толщиной 1,4 м); защитной крышки; верхней раздвижной части, что связано с необходимостью доступа к узлам канала транспортировки и замены НОМ.

Сравнительный анализ характеристик существующих в мире подкритических систем, а также исследовательских реакторов Украины и сооружаемой ЯПУ «Источник нейтронов» приведен в табл. 1. Результаты анализа показывают, что «Источник нейтронов» будет первой в мире установкой, которая основана на ПКС и обладает значительной тепловой мощностью [2].

**Разработка нормативной базы по ядерной и радиационной безопасности ЯПУ.** Наличие нормативной базы является необходимым условием лицензионного процесса. На момент начала реализации проекта сооружения ЯПУ

«Источник нейтронов» нормативная база Украины в части ПКС была ограничена двумя действующими документами бывшего СССР:

- правилами ядерной безопасности подкритических стендов (ПБЯ-01–75);
- общими положениями обеспечения безопасности исследовательских реакторов при проектировании, сооружении и эксплуатации (ОПБ ИР).

Принимая во внимание необходимость обновления регулирующих требований с учетом современных стандартов МАГАТЭ и накопленного международного опыта, Госатомрегулированием Украины с привлечением ГНТЦ ЯРБ разработан и введен в действие новый нормативно-правовой акт «Общие положения безопасности ядерной подкритической установки» [6] (далее — ОПБ ЯПУ).

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ, в ОПБ ЯПУ установлено, что основной целью безопасности ЯПУ является защита персонала, населения и окружающей среды от негативного радиационного воздействия этой установки при вводе в эксплуатацию, эксплуатации и снятия с эксплуатации. ЯПУ удовлетворяет требованиям безопасности, если ее радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях не приводит к превышению установленных пределов доз облучения персонала и населения, а также допустимого выброса и сброса в окружающую среду.

Критериями безопасности на всех этапах жизненного цикла ЯПУ являются:

вероятность запроектных аварий, приводящих к превышению уровней для принятия решений по эвакуации



населения, установленных нормами радиационной безопасности Украины [7] (далее — НРБУ-97), — не более  $10^{-7}$  в год;

непревышение  $k_{\text{эфф. макс}}$  значения 0,98 при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях;

непревышение для систем хранения и обращения со свежим и отработанным топливом ЯПУ  $k_{\text{эфф. макс}}$  значения 0,95 при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях;

подкритичность ЯПУ во всех режимах остановки — не менее 5 %.

Допустимые уровни облучения персонала и населения, уровни выбросов и сбросов радиоактивных веществ и их содержание в окружающей среде при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации в случаях аварий не превышают значений, установленных в НРБУ-97.

В ОПБ ЯПУ определены и конкретизированы принципы обеспечения безопасности ЯПУ:

фундаментальные — обеспечение культуры безопасности; ответственность эксплуатирующей организации; государственное регулирование безопасности; реализация стратегии глубокоэшелонированной защиты;

общие организационно-технические — применение апробированной инженерно-технической практики; внедрение системы управления деятельностью; оценка безопасности ЯПУ; учет человеческого фактора; учет опыта эксплуатации; внутренний надзор; обеспечение ядерной безопасности; обеспечение радиационной безопасности; обеспечение защищенности.

Особое внимание уделено вопросам ядерной безопасности ЯПУ «Источник нейтронов». К основным принципам ядерной безопасности на всех этапах жизненного цикла ЯПУ относятся:

принцип предотвращения возникновения самоподдерживающейся цепной реакции (далее — СЦР), который обеспечивается соблюдением условий, исключающих возникновение СЦР;

принцип обеспечения сохранения эффективности физических барьеров безопасности, который соблюдается предотвращением повреждения твэлов, корпуса ПКС, контуров ее охлаждения и экспериментальных устройств и который исключает выход радиоактивных материалов (РМ) за пределы установленных барьеров безопасности;

принцип предотвращения несанкционированного доступа к ядерному топливу, РМ и их несанкционированного использования, который обеспечивается сохранением и предотвращением несанкционированного доступа.

Ядерная безопасность ЯПУ обеспечивается системой технических средств и организационными мероприятиями за счет:

использования свойств внутренней самозащищенности ЯПУ;

применения стратегии глубокоэшелонированной защиты;

использования систем безопасности, спроектированных на основе принципов единичного отказа, разнообразия, резервирования и физического разделения;

невозможности возникновения СЦР как при нормальных условиях, так и при любом исходном событии, которое может привести к авариям (ориентировочный перечень таких исходных событий приведен в приложении к ОПБ ЯПУ);

соблюдения норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности, а также требований, изложенных в проекте ЯПУ;

предотвращения нарушений условий и пределов безопасной эксплуатации, требований ядерной безопасности, регламентированных проектно-конструкторской, технической документацией, нормативными документами (НД);

соблюдения принципов культуры безопасности; использования системы управления деятельностью на всех этапах жизненного цикла ЯПУ;

обеспечения соответствующей квалификации персонала; наличия необходимой эксплуатационно-технической документации;

применения консервативного подхода при обосновании ядерной безопасности.

В ориентировочный перечень исходных событий аварий для учета в проекте ЯПУ и обоснования безопасности в отчете по анализу безопасности, согласно приложению к ОПБ ЯПУ, входят:

#### 1. Проектные аварии

1.1. Исходные события, которые приводят к введению положительной реактивности ЯПУ: падение в активную зону ЯПУ предмета, который вносит положительную реактивность; введение положительной реактивности исполнительными механизмами СУЗ, технологическими системами или экспериментальными устройствами вследствие неисправности, отказов и ошибок персонала; незапланированное изменение геометрии и состояния компонентов активной зоны, отражателя; отказ, разрушение внутренних корпусных устройств (элементов) ЯПУ; впрыск холодного (горячего) теплоносителя в активную зону; ошибки персонала при загрузке ядерного топлива и др.).

1.2. Исходные события, которые приводят к нарушению теплоотвода: блокирование прохождения теплоносителя через ТВС (твэлы), отказ систем охлаждения ЯПУ; течь корпуса ЯПУ; межконтурные неплотности теплообменника; разгерметизация оборудования или разрывы трубопроводов экспериментальных устройств; обезвоживание активной зоны ЯПУ, БВ отработанного ядерного топлива (ОЯТ).

1.3. Исходные события, связанные с нарушениями при обращении с ядерными материалами (ЯМ): разгерметизация отдельных ТВС; падение ТВС или экспериментального устройства с ЯМ, падение предметов в БВ ОЯТ и др.

1.4. Природные и техногенные события: сейсмические воздействия; внутренние и внешние пожары на площадке ЯПУ; затопление помещений и др.

#### 2. Запроектные аварии

2.1. Аварии с несанкционированным введением положительной реактивности вследствие наложения нескольких отказов или ошибок персонала.

2.2. Аварии с полным прекращением внешнего электроснабжения с отказом локализирующей системы или ошибками персонала по ее управлению.

2.3. Аварии с увеличением тепловыделения в НОМ вследствие несанкционированного увеличения потока заряженных частиц и отказом системы охлаждения в комбинации с отказом локализирующей системы или ошибками персонала по ее управлению.

В ОПБ ЯПУ установлены общие требования ко всем этапам жизненного цикла ЯПУ «Источник нейтронов». Отдельные положения требуют конкретизации в других НД более низкого уровня (например, требования по безопасности при проведении экспериментальных исследований на ЯПУ «Источник нейтронов»).

В случае использования зарубежных документов необходимо обеспечить гармонизацию их требований с украинским законодательством в сфере использования ядерной энергии. Допускается применение международных норм и правил, если: а) их требования более консервативны; б) рассматриваются вопросы, не отраженные в национальных нормативных документах. Результаты сравнительного анализа НД (анализа соответствия) должны предоставляться на рассмотрение в Госатомрегулирование Украины.

**Схема лицензирования ЯПУ «Источник нейтронов»** Процесс лицензирования ЯПУ «Источник нейтронов» включает в себя:

- подготовку в соответствии с требованиями НПА лицензионных документов;

- взаимодействие ННЦ ХФТИ с Госатомрегулированием Украины и другими надзорными, регулирующими органами и их экспертными организациями в процессе разработки лицензионных документов;

- рассмотрение лицензионных документов в Госатомрегулировании Украины и других надзорных и регулирующих органах, включая диалог с ними и их экспертными организациями с целью устранения замечаний экспертов;

- согласование, получение лицензий, разрешений, в том числе отдельных разрешений, сертификатов об утверждении.

При реализации проекта ЯПУ «Источник нейтронов» в соответствии с Законом Украины «О разрешительной деятельности в сфере использования ядерной энергии» лицензированию подлежат следующие отдельные этапы жизненного цикла ядерной установки:

- строительство ядерной установки;
- ввод в эксплуатацию ядерной установки;
- эксплуатация ядерной установки;
- снятие с эксплуатации ядерной установки.

В соответствии со статьей 8 Закона Украины «О разрешительной деятельности в сфере использования ядерной энергии», на первых этапах процесса лицензирования ННЦ ХФТИ направляет в Госатомрегулирование Украины заявление о выдаче лицензии на осуществление деятельности на этапах жизненного цикла «строительство» и «ввод в эксплуатацию ядерной установки» ЯПУ «Источник нейтронов».

Принципиальная схема лицензирования ЯПУ «Источник нейтронов» [8] представлена на рис. 2 (лицензирование на этапе жизненного цикла «снятие с эксплуатации» не рассмотрено).

В рамках лицензии на строительство и ввод в эксплуатацию ядерной установки ННЦ ХФТИ осуществляет получение отдельных разрешений Госатомрегулирования Украины. В общих условиях лицензии [9] установлен перечень отдельных разрешений Госатомрегулирования Украины на выполнение следующих работ (технологических операций):

- первый завоз ядерного топлива для ЯПУ «Источник нейтронов» на территорию промышленной площадки ННЦ ХФТИ;

- транспортно-технологические операции по перемещению ядерного топлива на площадке ЯПУ «Источник нейтронов»;

- ввод в эксплуатацию ЯПУ «Источник нейтронов» и отдельные стадии ввода в эксплуатацию, определенные в программе ввода в эксплуатацию;

- загрузка ядерного топлива и формирование активной зоны для достижения проектного значения  $k_{эфф}$  подкритической сборки;

- проведение нейтронно-физических измерений и испытаний;

- физический пуск ЯПУ «Источник нейтронов»;

- загрузка НОМ в активную зону ПКС;

- проведение комплексных испытаний ЯПУ «Источник нейтронов».

**Экспертные оценки материалов ЯПУ «Источник нейтронов».** Госатомрегулированием Украины с привлечением ГНТЦ ЯРБ выполнены экспертные оценки материалов предварительного отчета по анализу безопасности и проекта ЯПУ «Источник нейтронов».

По результатам экспертных оценок отмечено следующее.

В проекте ЯПУ «Источник нейтронов» реализована стратегия глубокошелонированной защиты, которая базируется на применении системы физических барьеров на пути распространения в окружающую среду ионизирующего излучения и радиоактивных веществ, системы технических средств и организационных мероприятий по защите физических барьеров и сохранению их эффективности. Физическими барьерами являются оболочка твэла, первый контур, система ограждающих помещений.

В проекте ЯПУ «Источник нейтронов» должным образом учтен опыт аварии на АЭС «Фукусима-1» (при проектировании в качестве максимального расчетного землетрясения принято значение 7 баллов по шкале MSK-64, что обеспечивает достаточный запас сейсмостойкости по отношению к сейсмичности площадки 6 баллов по шкале MSK-64). В составе анализа аварий выполнен анализ и подтверждена безопасность ЯПУ «Источник нейтронов» при потере теплоотвода и полном обесточивании.

Системы охлаждения ЯПУ «Источник нейтронов» спроектированы двухконтурными и одноканальными. Предусмотрено резервирование оборудования и возможность пассивного залива ПКС при отказе рабочего и резервного насосов охлаждения. Давление теплоносителя в первом контуре ниже рабочего давления охлаждающей воды во втором контуре, что исключает возможность попадания радиоактивного теплоносителя во второй контур при неплотности теплообменных трубок.

Загрузка ядерного топлива ограничена 35 ТВС с последующим обоснованием и согласованием с Госатомрегулированием Украины возможности увеличения количества тепловыделяющихборок.

В окончательном отчете по анализу безопасности ЯПУ «Источник нейтронов» необходимо расширить объем анализа безопасности и учесть результаты выполненных строительных и пусконаладочных работ.

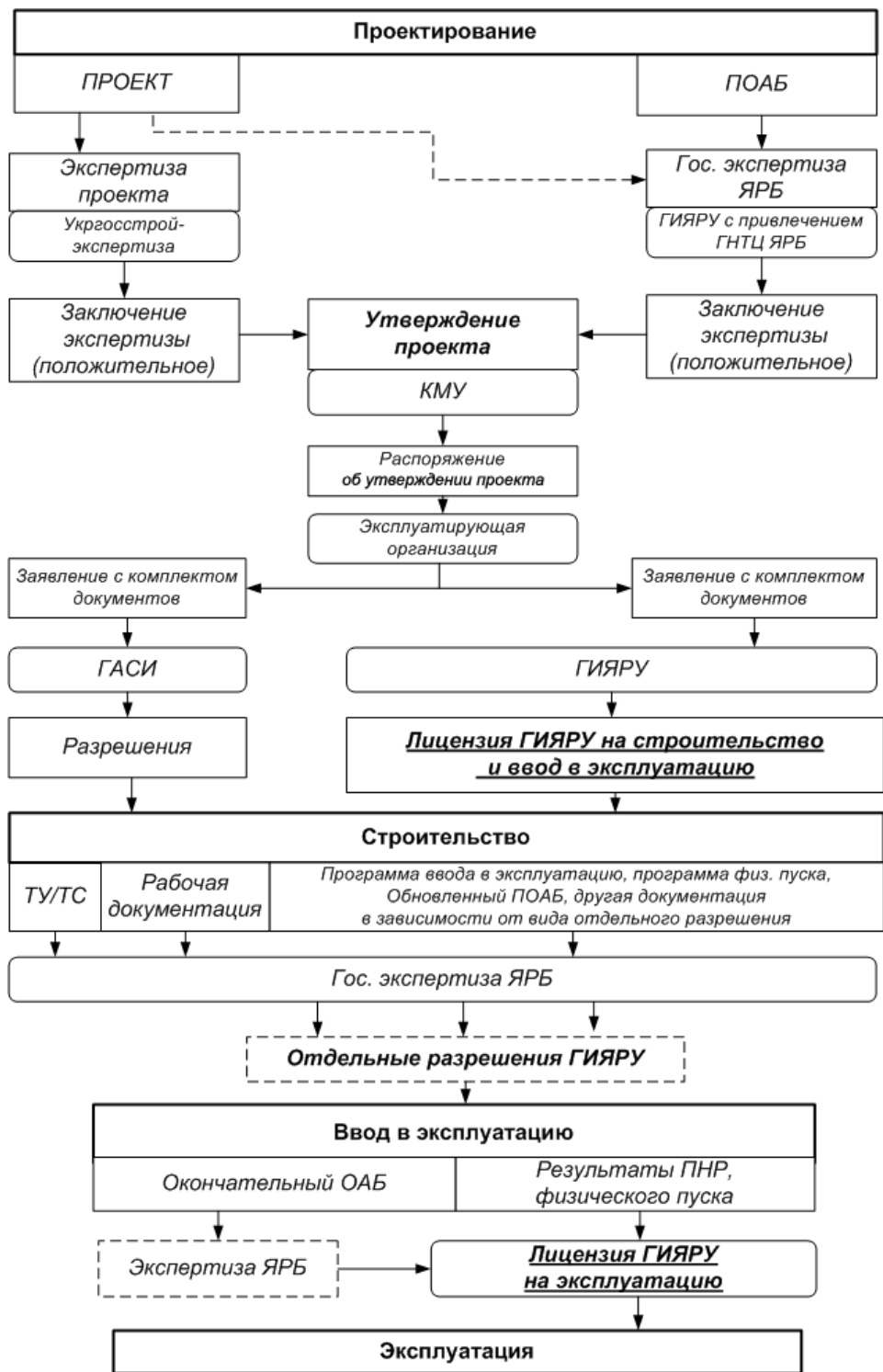


Рис. 2. Принципиальная схема лицензирования ЯПУ «Источник нейтронов»

### Выводы

Сооружение принципиально новой исследовательской ядерной установки — ЯПУ «Источник нейтронов» — является вызовом как для эксплуатирующей организации ННЦ ХФТИ, так и для регулирующего органа — Госатомрегулирования Украины.

В мировой практике накоплен значительный опыт безопасной эксплуатации подкритических систем,

управляемых ускорителями частиц (ADS-систем). Вместе с тем каждая из подкритических систем уникальна по конструктивным и технологическим решениям. Особенностью проекта ЯПУ «Источник нейтронов» является использование ускорителя электронов релятивистских энергий для генерации нейтронов вследствие фотоядерных реакций в нейтронообразующей мишени, а также значительная по сравнению с другими подкритическими системами тепловая мощность.

В настоящее время Госатомрегулированием Украины созданы все необходимые условия для осуществления лицензионного процесса ЯПУ «Источник нейтронов». На основании стандартов МАГАТЭ и международного опыта разработан и введен в действие нормативно-правовой акт «Общие положения безопасности ядерной подкритической установки», который устанавливает цели, принципы и критерии безопасности ЯПУ. Выполнена экспертиза ядерной и радиационной безопасности материалов предварительного отчета по анализу безопасности ЯПУ «Источник нейтронов».

Коллегия Госатомрегулирования Украины 26.09.2013 приняла решение считать возможным выдачу ННЦ ХФТИ лицензии на право осуществления деятельности на этапах жизненного цикла «строительство» и «ввод в эксплуатацию ЯПУ «Источник нейтронов»», а 10.10.2013 лицензия (серия ЕО 001018) выдана.

### Список использованной литературы

1. Закон Украины «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности» от 08.02.1995 № 39/95-ВР. — 1995.
2. Ядерная установка «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой ускорителем электронов». Технико-экономическое обоснование строительства. — ННЦ ХФТИ, 2011.
3. Ядерная подкритическая установка «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой линейным ускорителем электронов». Проект. — ННЦ ХФТИ, 2012.
4. Ядерная подкритическая установка «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой ускорителем электронов». Предварительный отчет по анализу безопасности (ПОАБ). — ННЦ ХФТИ, 2012.
5. База даних МАГАТЄ щодо дослідницьких реакторів. — (<http://nucleus.iaea.org/RRDB/RR>).МАГАТЄ, 2013.
6. Загальні положення безпеки ядерної підкритичної установки: НП 306.2.183–2012. — Держатомрегулювання України, 2012.

7. Нормы радиационной безопасности Украины: НРБУ-97. ДГН 6.6.1.-6.5.001–98. — МОЗ України, 1998

8. Ядерная подкритическая установка «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой линейным ускорителем электронов». План лицензирования: ДДН 39–6–000. — ННЦ ХФТИ, 2013.

9. Ліцензія ЕО 001018 «На право провадження діяльності з будівництва та введення в експлуатацію ядерної підкритичної установки “Джерело нейтронів, засноване на підкритичній збірці, що керується прискорювачем електронів”» Держатомрегулювання України, 2013.

### References

1. Law of Ukraine «Volume Using nuclear energy and radiation safety» Parliament of Ukraine. — 1995.
2. Nuclear installation «Neutron source based on a subcritical assembly, controlled source of an electron accelerator». Technical and economic Substantiation of Construction. — NSC KIPT, 2011.
3. Subcritical nuclear installation «Neutron source, based on subcritical assembly driven linear electron accelerator. The Project. — NSC KIPT, 2012.
4. Subcritical nuclear installation «Neutron source, based on subcritical assembly driven electron accelerator». A preliminary safety analysis report. PSAR — NSC KIPT, 2012.
5. IAEA Database on Research Reactors. — <http://nucleus.iaea.org/RRDB/RR>.
6. General safety of nuclear installations subcritical: NP 306.2.183–2012, SNRIU. — 2012.
7. Norms of Radiation Safety, the NRBU-97. DHN 6.6.1.-6.5.001–98. — Ministry of Health, 1998
8. Subcritical nuclear installation «neutron source, based on subcritical assembly driven linear electron accelerator». Licensing plan. DDN 39–6–000. — NSC KIPT, 2013.
9. License EA 001018 «The right to the exercise of the construction and commissioning of a nuclear installation subcritical “Neutron source based on the subcritical assembly driven electron accelerator”». — SNRIU, 2013.

*Получено 07.11.2013.*