

# Комплекс поглотителя УНК–600

В.А. Васильев, И.И. Дегтярев, В.Н. Лебедев, А.Е. Лоховицкий,  
М.А. Маслов, Ю.С. Федотов, И.А. Язынин  
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

## Введение

Система аварийного сброса пучка прямого направления первой ступени УНК должна обеспечить быстрый однооборотный (70 мкс) вывод пучка протонов в диапазоне энергий 70–600 ГэВ интенсивностью  $6 \times 10^{14}$   $p$  при возникновении в любой из систем ускорителя нештатной ситуации, обусловившей повышение уровня потерь пучка [1].

Расположение и параметры магнитных элементов системы аварийного вывода обеспечивают требуемый размер пучка на аварийном поглотителе, выбранный с учетом предотвращения разрушения зерна поглотителя при многократном сбросе за каждый цикл ускорения пучка полной интенсивности.

Физические процессы, связанные с развитием адронного межъядерного каскада в веществе поглотителя, приводят к ряду эффектов, налагающих определенные требования на конструкцию поглотителя. К числу важнейших из них следует отнести:

- 1) возникновение механических напряжений вследствие сильных мгновенных температурных градиентов;
- 2) радиационные повреждения материала поглотителя;
- 3) возникновение полей рассеянного излучения;
- 4) активацию вещества поглотителя, обессоленной воды 1-го контура охлаждения, грунта и грунтовых вод в непосредственной близости от поглотителя.

## Конструкция поглотителя

Энерговыделение в процессе развития ядерно-электромагнитного каскада определяет температурные поля в элементах конструкции поглотителя. В качестве материала, поглощающего энергию протонов пучка, выбран технический графит. Применение графита как конструкционного материала основывается на его достаточно высокой температуре сублимации (сохраняется в твердом состоянии при температуре до 4000 К), значительной теплоемкости и теплопроводности, легкости механической обработки, хорошей радиационной стойкости, высоком сопротивлении термическому удару. Расчеты показали, что использование иных радиационно-стойких материалов (*Al, Cu, Fe, W*) для изготовления зерна поглотителя невозможно из-за несоответствия параметров их термомеханической стойкости условиям тепловой нагрузки пучком.

Длина поглотителя была выбрана с учетом практически полного затухания ядерного и электромагнитного каскадов в веществе поглотителя и составила 6 м. Диаметр зерна ( $d=350$  мм) выбирался с учетом полного перехвата пучка при аварийной ситуации.

Рабочая область пучка на поглотителе, определенная с учетом проведения пучка с учетверенным эмиттансом и увеличения его размеров из-за нестабильности элементов вывода, составляет  $\pm 150$  мм по горизонтали и  $\pm 142$  мм — по вертикали.

На рис.1 показана конструктивная схема поглотителя. КERN поглотителя состоит из поглощающих секций толщиной 100 мм, которые набираются из круглых графитовых пластин толщиной 4 мм. Графитовые пластины заключены в теплоаккумулирующий алюминиевый обод, что обеспечивает эффективный теплоотвод от графита к водоохлаждаемому корпусу керна, а также снижает тепловые потоки в тракт охлаждения. Поглощающие секции заключены в корпус с радиальным зазором не менее 1,5 мм для компенсации терморасширения. Корпус керна представляет собой цилиндрическую оболочку с торцевыми днищами. В районе днищ корпуса керна предусматриваются выходы для подвода (отвода) гелия в полость керна и трассировки измерительных термомпар. На внешней поверхности корпуса установлены дистанционирующие ребра, обеспечивающие его размещение в корпусе рубашки охлаждения. Корпус рубашки охлаждения содержит два патрубка для подвода и отвода обессоленной воды из системы охлаждения воды первого контура. Газообразный гелий подается в полость керна для предотвращения процесса окисления графита. Кроме того, в случае аварийной разгерметизации корпуса керна, гелий будет препятствовать проникновению воды в активную (графитовую) зону, так как в процессе эксплуатации давление гелия в полости керна будет автоматически поддерживаться на 0,05 МПа больше, чем давление воды в рубашке охлаждения.

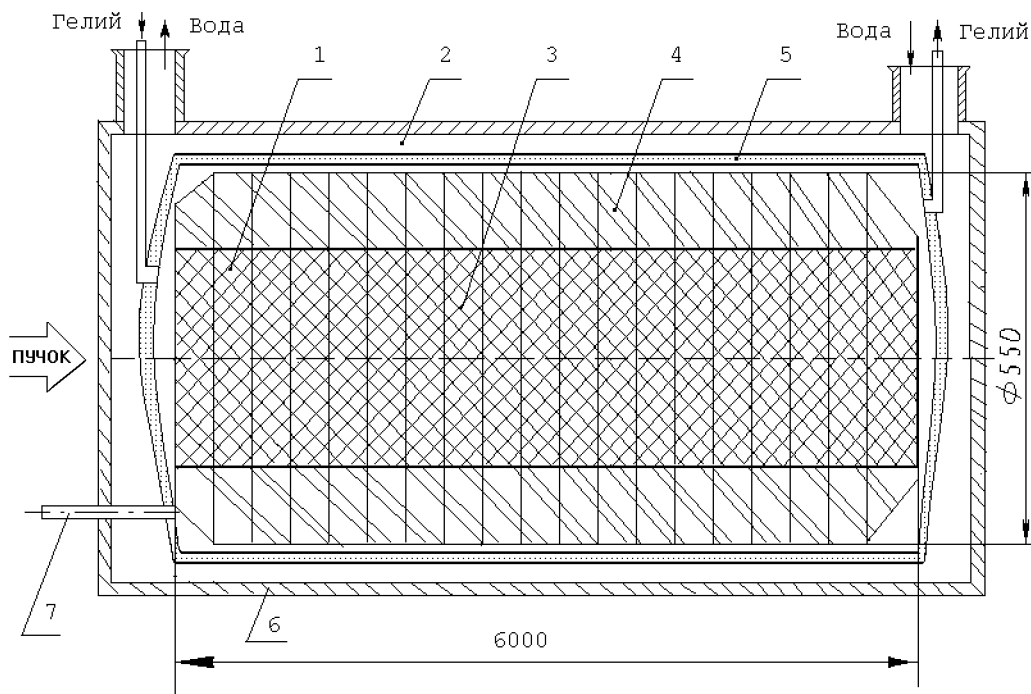


Рис. 1: Конструктивная схема поглотителя пучка. 1 — керна; 2 — рубашка охлаждения; 3 — поглощающая секция из графита; 4 — алюминиевый обод поглощающих секций; 5 — стальной корпус керна; 6 — корпус рубашки охлаждения; 7 — вывод трассировки термомпар.

Конструкцией поглотителя предусмотрен контроль температурного состояния секций поглотителя в четырех сечениях по длине. В каждом сечении с интервалом  $120^{\circ}$  на трех радиусах размещается 6 термодатчиков (по два на каждом радиусе). Температура корпуса керна измеряется в 4 точках по цилиндрической поверхности. Корпус рубашки охлаждения оснащается термодатчиками на подводящем и отводящем патрубках на задней и передней торцевых крышках. В системе контроля предусматривается измерение давления воды и гелия, а также анализ их составов на наличие радиоактивных продуктов и примесей следующих газов: He, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>.

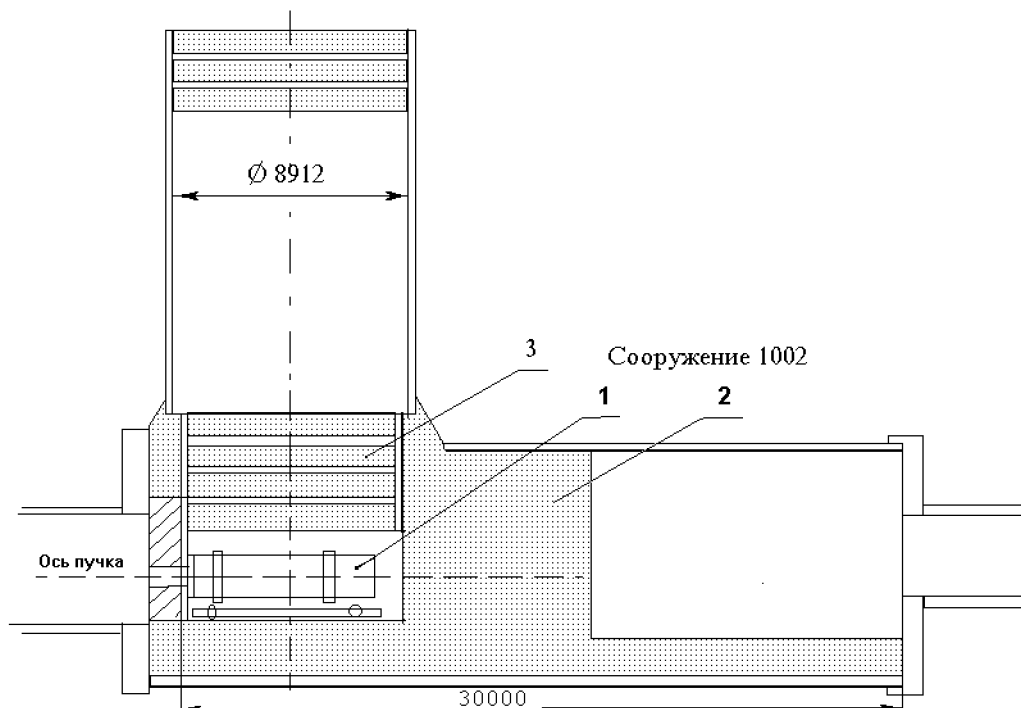


Рис. 2: Расположение поглотителя в подземной камере. 1 — поглотитель пучка; 2 — стационарная защита из тяжелого бетона плотностью  $3,6 \text{ т/м}^3$ ; 3 — съемная защита из тяжелого бетона.

В связи с активацией теплоносителя, охлаждающего поглотитель, принята трехконтурная система охлаждения. Первый контур — система охлаждения поглотителя обессоленной водой. Второй контур — система охлаждения кольцевого электромагнита первой ступени УНК. Третий контур — система оборотного водоснабжения. Заполнение и подпитка обессоленной водой первого контура охлаждения будут осуществляться из системы охлаждения кольцевого электромагнита 1-й ступени УНК. Активированная вода из первого контура при опорожнении системы, а также в случае разрыва трубопроводов, будет перекачиваться дренажным насосом в зд. 1018 УНК, где проектом предусмотрено размещения специальных емкостей для выдержки активированной воды.

Поглотитель аварийного вывода будет располагаться в специальной подземной камере диаметром 9 м и длиной 30 м на расстоянии 313 м от конца СПП-1 (рис.2). Для загрузки (выгрузки) поглотителя в камеру с поверхности земли предусмотрен вертикальный ствол диаметром 9 м.

Формирующиеся в процессе функционирования комплекса поглотителя аварийного сброса поля рассеянного излучения при отсутствии защиты могут представлять серьезную опасность для обслуживающего персонала и вызывать превышение допустимых радиационных нагрузок на грунт. Для защиты грунта и грунтовых вод вокруг поглотителя предусматривается защита 3–5 м из тяжелого бетона плотностью 3,6 т/м<sup>3</sup>. В вертикальном стволе предусматривается размещение стационарной защиты из армированного бетона и съемных защитных пробок из тяжелого бетона.

### Результаты расчета комплекса поглотителя

При однократном сбросе пучка протонов энергии 600 ГэВ с интенсивностью  $6 \times 10^{14}$  р на поглотитель максимальный температурный разогрев, сопровождающий развитие каскада в графите, не превышает 850° С. При этом полуразмеры пучка на поглотителе составят  $A_r \times A_z = 60 \times 70$  мм<sup>2</sup> на уровне  $3\sigma$ . Соответствующие зависимости мгновенного разогрева поглотителя по длине на разных расстояниях от оси пучка, рассчитанные в рамках комплекса MARS12 [2], показаны на рис.3. Для предотвращения вскипания воды суммарная толщина на переднем торце поглотителя стального корпуса керна и корпуса рубашки охлаждения не должна превышать 15 мм. Длина графитового керна должна составлять не менее 6 м.

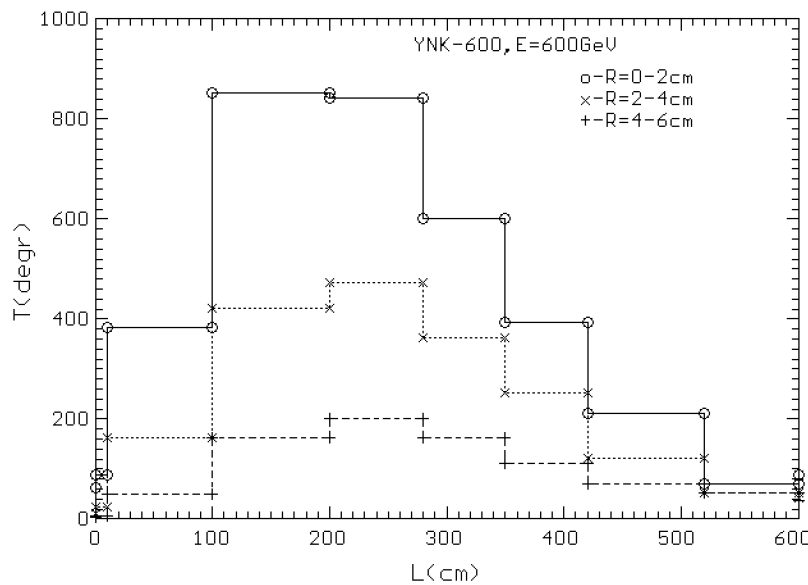


Рис. 3: Мгновенный разогрев поглотителя при однократном сбросе пучка протонов  $E = 600$  ГэВ интенсивности  $6 \times 10^{14}$  р.

Температура максимально разогреваемой области керна при многократном сбросе пучка на поглотитель с периодом между импульсами 120 с увеличится незначительно — менее чем на 50° С по сравнению с однократным сбросом.

На рис.4 приведены результаты расчетов суммарной удельной активности керна поглотителя, произведенные по комплексам программ АСТ078 [3] и АСТ1 [4], в течение 10 лет эксплуатации с последующей выдержкой (считалось, что сброс пучка полной интенсивности производится в среднем раз в 2 минуты).

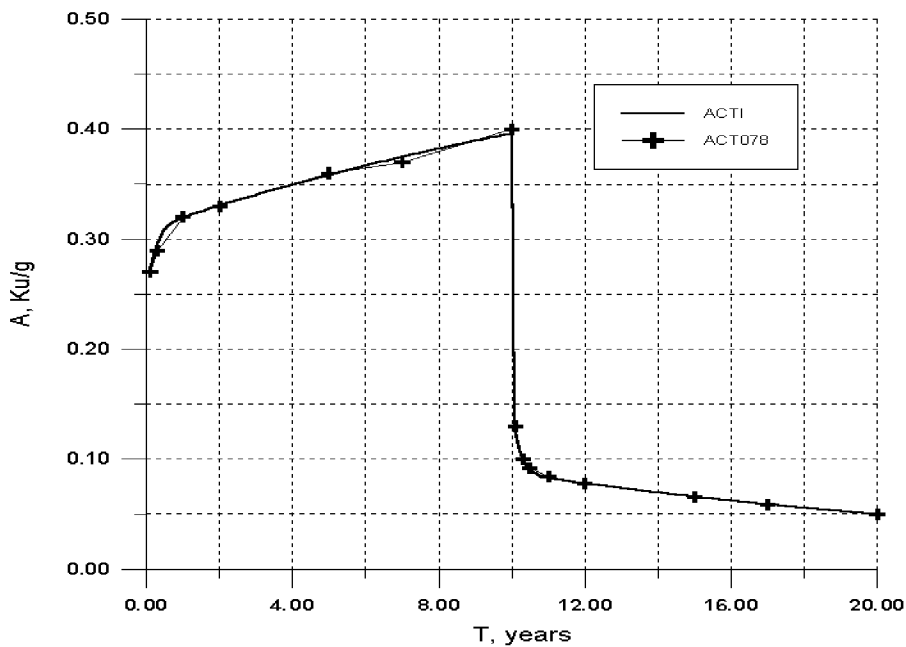


Рис. 4: Временная зависимость удельной активности ядра поглотителя.

### Список литературы

- [1] И.И.Дегтярев, А.Е.Лоховицкий, М.А.Маслов, Ю.С.Федотов, И.А.Язынин. Расчет поглотителя аварийного сброса пучка прямого направления УНК-1. В кн.: Сборник докладов XIV-го Совещания по ускорителям заряженных частиц.— Протвино, 1994, т.2 с.245.
- [2] N.V.Mokhov. The MARS12 Code System. In: Proceedings of the SARE Workshop, Santa Fe, January 1993.
- [3] Байшев И.С., Кучинин С.Л., Мохов Н.В. – Препринт ИФВЭ 78-2, Серпухов, 1977.
- [4] Дегтярев И.И., Лоховицкий А.Е., Язынин И.А. Комплекс программ для определения изотопного состава и удельной активности облученных конструктивных элементов ядерно-физических установок – Настоящий сборник.