

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ОЯТ В ЗАЩИТНЫХ КАМЕРАХ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТВС РЕАКТОРА МБИР

А.В. Акимов, Е.С. Фрааз, А.П. Малков  
АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград

### ВВЕДЕНИЕ

В АО «ГНЦ НИИАР» проводятся различные исследования отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Обеспечение ядерной безопасности (ЯБ) при обращении с ОЯТ, является одной из важнейших задач. Все технологические операции с ОЯТ должны быть обоснованы, а анализ ЯБ проведен в полном соответствии с требованиями государственных нормативных документов по ядерной безопасности [1,2]. Согласно документу [1] основным критерием обеспечения ЯБ при хранении и транспортировании ЯТ является не превышение эффективным коэффициентом размножения нейтронов  $K_{эфф}$  величины 0,95 как при нормальной эксплуатации, так и при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии и изменение плотности замедлителя (в частности, воды). Согласно документу [2] для отдельных единиц оборудования и нейтронно-изолированных систем оборудования значение  $K_{эфф}$  не должно превышать величины 0,95 при нормальной эксплуатации, и величины 0,98 при нарушениях нормальной эксплуатации включающих исходные события.

Результаты расчётов  $K_{эфф}$ , использованные для анализа ЯБ, были получены при помощи аттестованной Ростехнадзором программы MCU-RFFI/A[3].

В данной работе рассмотрена методика анализа ядерной безопасности на примере проведения исследований основных параметров (герметичность, равномерность распределения топливного столба, целостность оболочки и другие) твэлов РУ МБИР после их облучения.

От РУ к месту проведения исследований облученные твэлы доставляются в контейнерах для внутриобъектовых перевозок. Твэлы доставленные в составе экспериментальной ТВС (ЭТВС) РУ МБИР извлекаются из нее. Исследования твэлов будут проходить в цепочке радиационно-защитных камер. Для удобства перемещения твэлов между камерами их устанавливают в кассы.

Первоначально были проведены расчеты одиночной упаковки - контейнера, предназначенного для внутриобъектовых перевозок и кассы. Проведены расчеты для различной комбинации среды внутри и вне упаковки. Согласно [1], проводили расчеты в зависимости от плотности воды внутри и вне упаковки. Поскольку касс несколько, в расчетах учитывалось размещение касс на разном расстоянии друг от друга.

В радиационно-защитных камерах проводятся исследования твэлов других РУ. На проведение таких работ ранее было выполнено обоснование ЯБ и установлены соответствующие ограничения. Среди всех исследуемых твэлов наибольшее значение  $K_{эфф}$  достигались для твэлов РУ БОР-60. Для твэлов РУ МБИР, исследования которых в этих камерах ранее не осуществлялось, необходимо проведение расчетов аналогичных систем и сравнение полученных результатов. Если для новых типов твэлов значения  $K_{эфф}$  меньше, то для них справедливы установленные ранее ограничения. В противном случае требуется введение новых ограничений.

Сравнение результатов полученных для одиночной и двух касс с твэлами РУ БОР-60 и РУ МБИР показало, что значения  $K_{эфф}$  значительно больше для касс с твэлами РУ БОР-60.

Далее были рассмотрены различные системы, моделирующие размещение твэлов на столешнице камер и в приемных колодцах. Рассмотрены варианты размещения твэлов на столешнице в один слой и пучком, размещения твэлов пучком в приемных колодцах, определен шаг размещения твэлов, при котором значение  $K_{эфф}$  максимально. Результаты расчета зависимости  $K_{эфф}$  от шага приведен на рисунке 1. Для всех рассмотренных систем значение  $K_{эфф}$  не превысило предельной величины при любой среде (воздух, вода различной плотности) размещения и заполнения элементов систем. Наибольшие значения  $K_{эфф}$  значительно больше для систем с твэлами РУ БОР-60, чем для аналогичных систем с твэлами РУ МБИР.

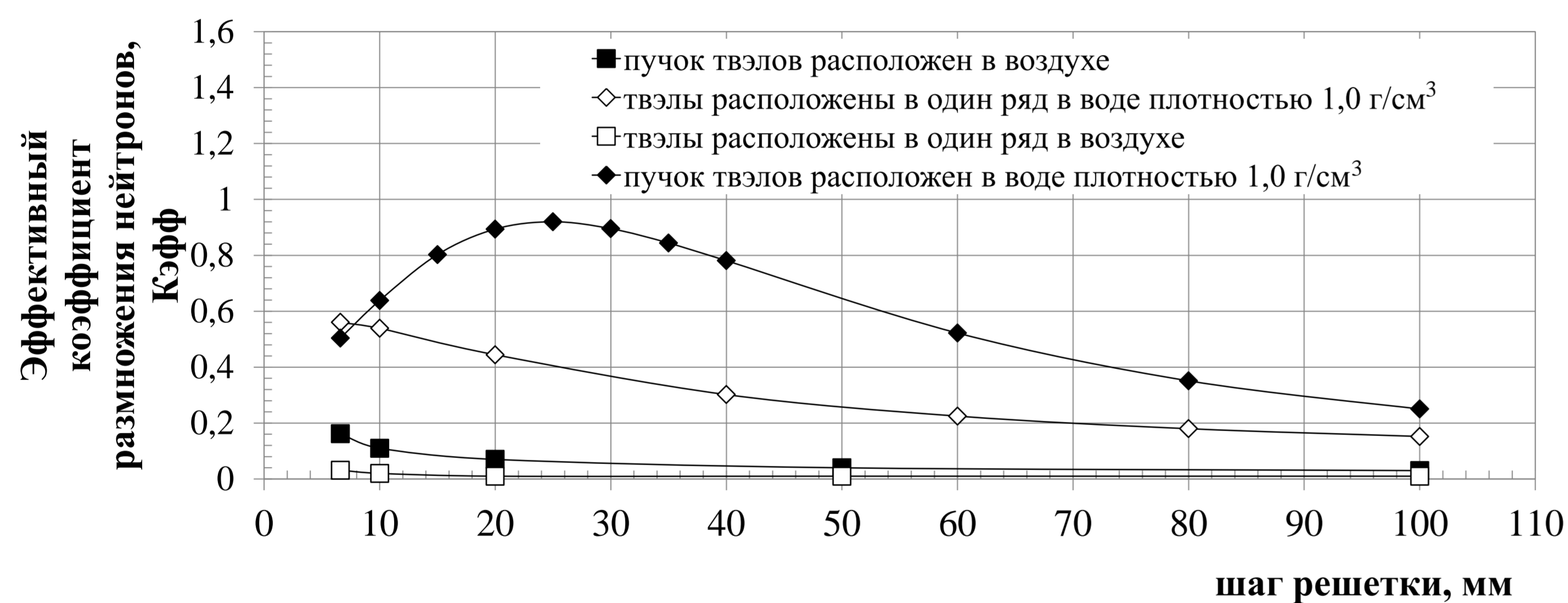


Рисунок 1. Зависимость  $K_{эфф}$  для системы, состоящей из твэлов РУ МБИР, расположенных пучком в узлах треугольной решетки или в один ряд, от среды размещения твэлов и шага решетки

Поскольку исследования твэлов будут проводиться в установках поштучно и масса каждого типа твэлов не превышает 300 г, установки относятся к безопасному типу оборудования и не требуют расчетного обоснования.

После проведения всех необходимых исследований кассы с твэлами РУ МБИР планируют временно хранить в хранилищах. При анализе ЯБ хранилища, консервативно предполагали, что все хранилище заполнено только кассами с твэлами РУ МБИР. В соответствии с [1] были выполнены расчеты хранилищ как для нормальных условий эксплуатации (езде воздушная среда), так и для аварийного заполнения водой различной плотности. Максимальное значение  $K_{эфф}$  не превысило величину 0,86 (<0,95). На рисунке 2 представлена зависимость  $K_{эфф}$  от плотности воды в хранилище внутри и вне касс.

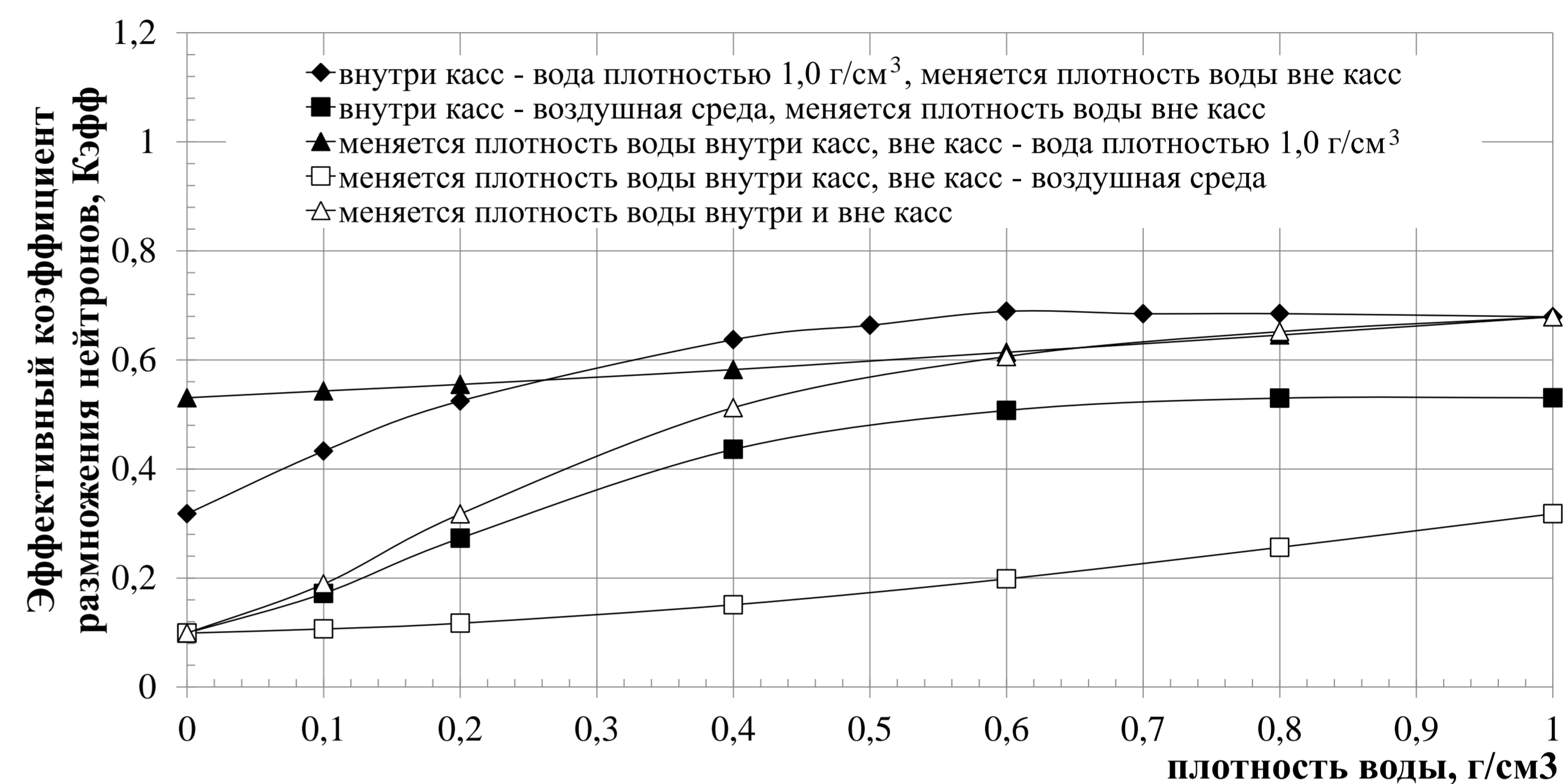


Рисунок 2. Зависимость  $K_{эфф}$  для системы, моделирующей хранение касс с твэлами РУ МБИР в хранилище, от плотности воды внутри и вне касс

В процессе проведения технологических операций в камерах возможно сближение систем, состоящих из групп упаковок или изделий. Такие ситуации могут привести к увеличению значения  $K_{эфф}$ . В одном из случаев сближения твэлов и стеллажа, расположенного на столешнице полученное в результате расчетов максимальное значение  $K_{эфф}$  близко к предельной величине 0,95. Это значение достигается при определенных условиях, а именно при заполнении касс водой плотностью 1,0 г/см³ и расположении их в воде плотностью 0,4 г/см³ с учетом плотноприлегающего отражателя. Ранее для аналогичных систем не было учтено изменение плотности воды, поскольку такое требование отсутствовало на тот момент в нормативных документах. В рамках данной работы был проведен такой расчет для твэлов БОР-60. Полученные значения  $K_{эфф}$  превысили предельную величину. Для удовлетворения требований ЯБ было определено безопасное расстояние. Результаты расчетов зависимости  $K_{эфф}$  от расстояния «в свету» между стеллажом и пучком твэлов приведен на рисунке 3.

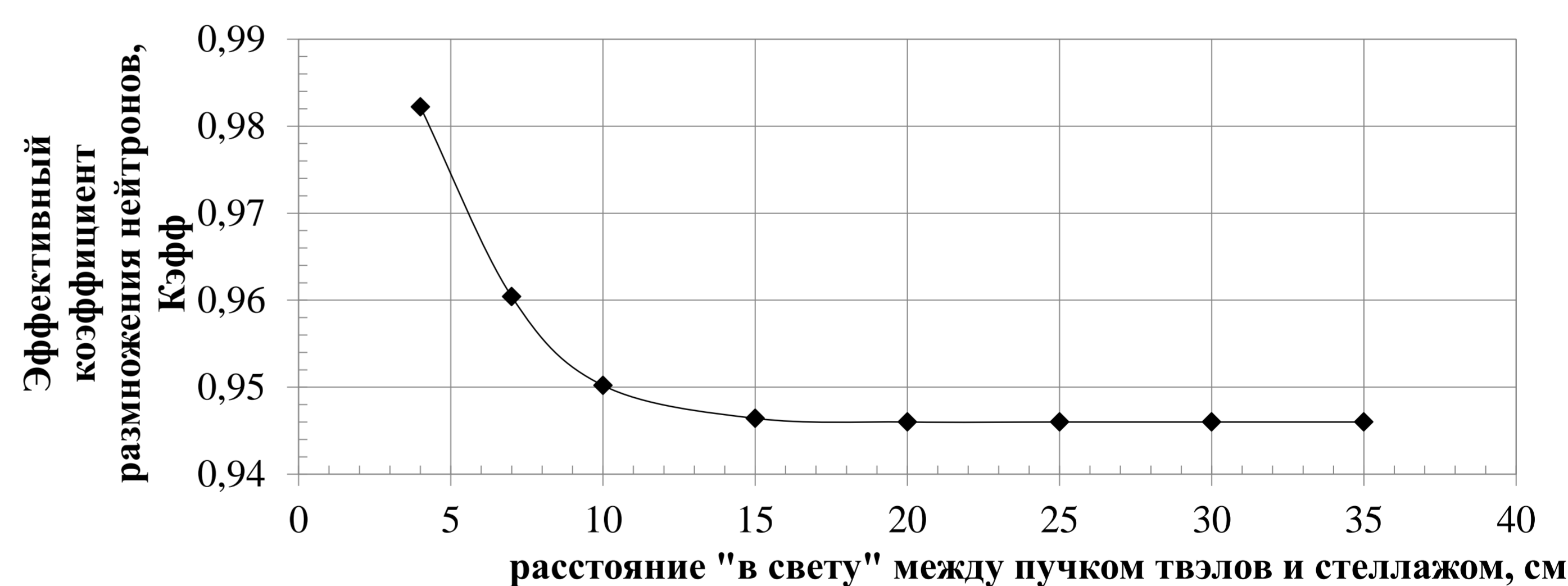


Рисунок 3. Зависимость  $K_{эфф}$  для системы, состоящей из пучка твэлов РУ БОР-60 и стеллажа с кассами с твэлами РУ БОР-60, от расстояния «в свету» между пучком твэлов и стеллажом

В качестве мер, предотвращающих нарушения данного ограничения была предложена установка механических ограничителей (барьеров).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ ЯБ показал, что проведение исследований облученных твэлов РУ МБИР обеспечивается в полном объеме как в штатных условиях, так и в рассмотренных аварийных ситуациях с учетом установленных ограничений на геометрию размещения твэлов на столешнице камеры относительно стеллажа с кассами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НП-061-05. Правила безопасности при хранении и транспортировке ядерного топлива на объектах использования атомной энергии, 2005.
2. Основные правила ядерной безопасности при производстве, использовании, переработке, хранении и транспортировании ядерных делящихся материалов (ПБЯ-06-00-2016), М. 2016 г.
3. Программа MCU-RFFI/A с библиотекой констант DLC/MCU DAT-1.0 // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика ядерных реакторов», 2001. Вып.3. С. 50–55