

ISSN 0004-7163

Атомная энергия

ТОМ 132 ВЫП. 5
МАЙ•2022

радиационного воздействия на биоту в зоне размещения предприятий, деятельность которых связана с добычей и переработкой различных материалов с повышенным содержанием естественных радионуклидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Криволицкий Д.А.** Радиоэкология почвенных животных. М.: Наука, 1985. 182 с.
2. **Environmental Protection — the Concept and Use of Reference Animals and Plants.** Publication 108. London: SGSE Publications Ltd., 2008. 246 p.
3. **Спирин Е.В., Алексахин Р.М., Панченко С.В.** Оценка радиэкологической безопасности уранового месторождения для биоты. — Атомная энергия, 2013, т. 115, вып 5, с. 279—284.
4. **Dose Coefficients for Non-Human Biota Environmentally Exposed to Radiation.** Publication 136. London: SGSE Publications Ltd., 2017. 136 p.
5. **Sources and Effects of Ionizing radiation.** Rep. of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly with Scientific Annexes. V.1. Sources. Annex B: Exposures from Natural Radiation Source. New York: United Nations, 2000. 76 p.
6. **Титов А.В., Шандала Н.К., Маренный А.М. и др.** Радиационная обстановка на объекте бывшего предприятия ЛПО «Алмаз». — Гигиена и санитария, 2017, т. 96, № 6, с. 822—826.
7. **Карпенко Е.И.** Комплексная оценка радиационного воздействия объектов ядерной энергетики на окружающую среду и человека. Дис. на соискание ученой степени доктора биол. наук. Обнинск, ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2020. 317 с.
8. **Титаева Н.А.** Ядерная геохимия. М.: Изд-во Московского университета, 2000. 336 с.
9. **Framework for Assessment of Environmental Impact (Fasset).** A Project within the EC 5th Framework Programme. Deliverable 3. Dosimetric Models and Data for Assessing Radiation Exposure to Biota. Stockholm, Swedish Radiation Protection Institute, 2003. 103 p.
10. **Спиридонов С.И., Фесенко С.В., Гераськин С.А. и др.** Оценка доз облучения древесных растений в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. — Радиационная биология. Радиоэкология, 2008, т. 48, № 4, с. 443—449.
11. **Спирин Е.В.** Метод расчета доз облучения животных для оценки последствий загрязнения окружающей среды. — Там же, 2009, т. 49, № 5, с. 608—616.
12. **Рыбак А.В.** Анализ сочетанного действия радиационного и химического факторов на популяцию дождевых червей семейства Lumbricidae. Дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук. Обнинск, ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. 140 с.

Поступила в Редакцию 21.03.22

УДК 621.039(285.2:470.54):597.2/5

ДИНАМИКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА ИХТИОФАУНУ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

Городецкий В. Г., Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В.

(ИЭРиЖ УрО РАН, г. Екатеринбург)

e-mail: vgorodetsky@mail.ru

Белоярская АЭС, как и любая другая, является источником поступления радионуклидов в окружающую среду, включая водоем-охладитель. В качестве ее водоема-охладителя используется Белоярское водохранилище протяженностью примерно 20 км, шириной до 3 км, которое было образовано в 1959—1963 гг. путем зарегулирования русла р. Пышмы. Зеркало водохранилища имеет площадь 47 км² [1]. Жидкие сбросы АЭС могут попадать в водоем по трем каналам: промливневому, сбросному — в него направляют подогретые воды, прошедшие систему охла-

ждения АЭС, и обводному, дренающему территории вокруг АЭС.

Водоем-охладитель характеризует радиационное воздействие на окружающую среду Белоярской АЭС на разных этапах ее эксплуатации. Первый энергоблок с канальным водографитовым тепловым реактором АМБ-100 был введен в эксплуатацию в 1964 г., второй АМБ-200 — в 1967 г. В 1980 г. был пущен третий энергоблок с быстрым реактором БН-600. К 1989 г. первые два блока были выведены из эксплуатации, до 2016 г. функционировал только третий энерго-

блок. Четвертый энергоблок с БН-800 17 августа 2016 г. выведен на 100%-ную мощность, 31 октября сдан в промышленную эксплуатацию.

Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища показали, что наибольшее накопление техногенных радионуклидов в основных компонентах водоема наблюдалось в период функционирования первых двух энергоблоков. После их вывода из эксплуатации радиоэкологическое состояние водоема-охладителя существенно улучшилось. Так, объемная активность в воде ^{137}Cs на различных участках Белоярского водохранилища уменьшилась в сотни раз, ^{60}Co — до 5600 раз. Подобные изменения были отмечены и в донных отложениях водоема. Концентрация ^{60}Co в донных грунтах промливневого канала снизилась в 362 раза, ^{137}Cs — в 44 раза. Улучшение общего радиоэкологического состояния водоема-охладителя также повлияло и на содержание радионуклидов в основных видах рыбы. Содержание ^{137}Cs в щуке уменьшилось в 8,8 раза, в плотве — в 25,8 раза [2].

При большом объеме исследований в разные периоды деятельности Белоярской АЭС данных о дозовых нагрузках на основные виды рыб, обитающих в водохранилище, недостаточно. Целью настоящей работы является оценка дозовых нагрузок на основные виды рыб водоема-охладителя Белоярской АЭС при работе энергоблоков разного типа.

Материалы и методы. Для расчета дозовых нагрузок использовалась программа ERICA-2.0.185 (проект Евратома) с учетом размерно-массовых характеристик исследованных видов рыб. В расчетах была использована информация о содержании радиоактивных веществ в воде, донных отложениях и тканях рыб Белоярского водохранилища [2, 3]. Для расчета дозовых нагрузок садкового карпа были использованы данные НПО «Тайфун» [4, 5]. Для оценки дозовых нагрузок в динамике сформированный массив данных был разделен на три временных этапа:

результаты 1976—1989 гг. характеризуют работу первых двух энергоблоков и ввод в эксплуатацию третьего энергоблока БН-600;

исследования с 2011 по 2014 г. соответствуют периоду работы только одного БН-600

после вывода из эксплуатации первых двух энергоблоков;

временной период с 2016 по 2019 г. показывает изменение радиоэкологического состояния водоема-охладителя после ввода в эксплуатацию четвертого энергоблока БН-800.

В качестве наиболее распространенных видов ихтиофауны были выбраны плотва, лещ, окунь, щука, карп.

При оценке дозовых нагрузок использовали активность верхнего слоя донных отложений толщиной 10 см. В программу закладывалось следующее допущение: сухая масса донных отложений составляет 75% мокрой. Соотношение между размерами осей эллипсоида, аппроксимирующего форму рыбы, подбирали с учетом основных размерно-массовых характеристик тела, преобладающих в исследуемых видах рыб (масса, длина, высота, ширина), таким образом, чтобы объем эллипсоида был равен объему рыбы при условии, что ее плотность равна плотности воды. Соотношение долей времени, проводимого рыбами в толще воды и вблизи дна, определялось с учетом их образа жизни и питания.

В период работы первых двух блоков Белоярской АЭС в компонентах водоема-охладителя, кроме ^{137}Cs и ^{90}Sr , содержался ^{60}Co . Предварительные расчеты мощности дозы облучения показали, что даже в 1977—1989 гг., когда концентрация ^{60}Co в водоеме было наиболее высокой, его вклад в общую дозу облучения был ничтожно мал по сравнению с ^{137}Cs . Это положение согласуется с результатами работы [3]. В более поздний период наблюдений после остановки первых двух энергоблоков содержание ^{60}Co в Белоярском водохранилище снизилось в сотни и даже тысячи раз. В настоящее время в водном компоненте его содержание почти не определяется, поэтому и долю в дозе облучения учесть невозможно. На основании этого была рассчитана мощность дозы облучения рыб ^{137}Cs и ^{90}Sr без учета вклада ^{60}Co .

Исходные данные для расчетов мощности дозы приведены в табл. 1 — 3.

Результаты исследования и обсуждение.

В табл. 4 приведена суммарная мощность дозы облучения основных видов рыб водоема за счет ^{137}Cs и ^{90}Sr , находящихся как во внешней среде (вода, донные отложения), так и непосредственно

Таблица 1. Размерно-массовые характеристики рыб и время обитания вблизи дна и в толще воды

| Вид | Масса, кг | Параметры аппроксимирующего эллипсоида, м | | | Отношение времени обитания вода/дно |
|-----------------|-----------|---|--------|--------|-------------------------------------|
| | | длина | высота | ширина | |
| Плотва | 0,1 | 0,17 | 0,013 | 0,035 | 0,5/0,5 |
| Лещ | 0,75 | 0,32 | 0,051 | 0,022 | 0,1/0,9 |
| Окунь | 0,15 | 0,19 | 0,057 | 0,026 | 0,9/0,1 |
| Щука | 1 | 0,46 | 0,078 | 0,053 | 0,9/0,1 |
| Карп: | | | | | |
| свободноживущий | 0,6 | 0,28 | 0,084 | 0,049 | 0,1/0,9 |
| садковый | 0,6 | 0,28 | 0,084 | 0,049 | 0,9/0,1 |

Таблица 2. Содержание радионуклидов в рыбе, Бк/кг

| Вид | 1977—1989 гг. | | 2011—2014 гг. | | 2016—2019 гг. | |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr |
| Плотва | 155,4 | 4,5 | 2,95 | 3,4 | 1,73 | 7,45 |
| Лещ | 50 | 3,7 | 2,55 | 3 | 1,48 | 8,95 |
| Окунь | — | — | 4,05 | 2,55 | 2,4 | 3,1 |
| Щука | 133 | 2,1 | 4,7 | 24,7 | 0,75 | 25,05 |
| Карп: | | | | | | |
| свободноживущий | 32 | 3,3 | 3,9 | — | 2,99 | — |
| садковый | 7,9 | — | 1,3 | — | 1,1 | — |

Таблица 3. Содержание радионуклидов в воде и донных отложениях

| Среда | 1977—1989 гг. | | 2011—2014 гг. | | 2016—2019 гг. | |
|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr |
| Вода, Бк/л | 0,31 | 0,061 | 0,012 | 0,0165 | 0,0091 | 0,0158 |
| Донные отложения, Бк/кг | 1490 | 22,4 | 126,75 | 36,07 | 29,93 | 21,33 |

Таблица 4. Суммарная мощность дозы облучения основных видов рыб водоема-охладителя на разных этапах работы Белоярской АЭС, нГр/сут

| Вид | 1977—1989 гг. | 2011—2014 гг. | 2016—2019 гг. |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| Плотва | 2743 | 245 | 160 |
| Лещ | 3822 | 367 | 215 |
| Окунь | — | 89 | 63 |
| Щука | 1000 | 423 | 384 |
| Карп: | | | |
| свободноживущий | 3657 | 316 | 84 |
| садковый | 36 | 5,6 | 4,7 |

в организме рыб. Видно, что наибольшая доза облучения отмечалась в 1977—1989 гг. при работе первых двух энергоблоков. Ранжирование видов рыб по мощности дозы облучения на первом этапе исследований представляются следующим образом: лещ, свободноживущий карп, плотва, щука, карп садковый. Мощность дозы облучения разных видов свободноживущих рыб водоема-охладителя в 1977—1989 гг. варьировала в интервале 1000 (щука) — 3822 нГр/сут (лещ). Более высокие показатели дозы облучения отмечены у леща, свободноживущего карпа, плотвы.

Обращает на себя внимание существенная разница мощности дозы облучения садкового и свободноживущего карпа. Мощность дозы облучения свободноживущего карпа в 101,6 раза больше, чем садкового. Основной причиной являются разные условия обитания. Садковый карп содержится на небольшой глубине, ограничен в перемещении, поэтому на него мало влияют донные отложения, в которых может содержаться до 98% всех радионуклидов водоема. К тому же садковый карп выращивается на искусственных кормах, не содержащих радиоактивные вещества.

В 2011—2014 гг. после вывода из эксплуатации первых двух энергоблоков отмечено существенное снижение дозовых нагрузок на ихтиофауну водоема-охладителя, связанное с уменьшением содержания техногенных радионуклидов в основных компонентах водохранилища (вода, донные отложения), включая внутреннее облучение за счет их накопления в тканях рыбы. Наиболее существенно по сравнению с первым этапом дозовые нагрузки снизились на свободноживущего карпа и плотву — в 11,5 и 11,2 раза соответственно. Максимальный показатель дозовой нагрузки на первом этапе исследований был отмечен у леща, который к второму этапу уменьшился в 10,4 раза. У остальных видов рыб также произошло снижение дозовых нагрузок, но в меньшем соотношении: на садкового карпа в 6,4 раза, щуку — в 2,3 раза. В результате изменился порядок ранжирования видов рыб по уровню дозовых нагрузок — щука, лещ, свободноживущий карп, плотва, окунь, садковый карп.

Результаты завершающего этапа исследований показали, что ввод в эксплуатацию БН-800 не оказал отрицательного влияния на радиоэкологическую ситуацию на Белоярском водохранилище, дозовые нагрузки на ихтиофауну водоема продолжали снижаться. Уменьшение дозовых нагрузок прослеживается у всех видов рыб, но наиболее значимое снижение отмечено у свободноживущего карпа — в 3,8 раза, леща — в 1,7 раза, плотвы — в 1,5 раза. У остальных видов намного меньше: у окуня дозовая нагрузка уменьшилась на 29,2%, карпа садкового — на 16,1%, щуки — на 9,2%. В порядке убывания дозовых нагрузок виды рыб водоема на заключительном этапе исследований можно расположить в следующей последовательности: щука, лещ, плотва, свободноживущий карп, окунь, садковый карп.

Таким образом, по мере очищения водоема-охладителя, снижения содержания техногенных радионуклидов во всех компонентах водоема произошло смещение дозовых нагрузок с рыб-эврифагов на ихтиофагов. Формирование дозовых нагрузок рыб-эврифагов в большей степени зависит от внешней среды, в первую очередь от донных отложений. Ихтиофаги являются конечным звеном трофической цепи в пресноводной экосистеме, источником поступления радионуклидов в организм являются ткани других рыб, входящих в их рацион. Поэтому формирование дозовой нагрузки ихтиофагов происходит в основном за счет внутренней дозы, что подтверждается последующими расчетами (табл. 5). Исключение составляет только садковый карп.

Доза внутреннего облучения щуки составила 98% общей дозы, окуня — 94%. Расчеты подтверждаются материалами других исследователей, показывающих особенности накопления техногенных радионуклидов в организме ихтиофагов. Более высокая удельная активность ^{137}Cs в мышцах ихтиофагов была отмечена и в других пресноводных экосистемах: в р. Енисей и Обь-Иртышской речной системе [6, 7].

Следует отметить, что и у эврифагов также изменилось соотношение внешнего и внутреннего облучения в сторону увеличения внутренней дозы. Вероятно, это связано с изменением влияния при формировании суммарной дозы γ - (^{137}Cs) и β -излучающих (^{90}Sr) радионукли-

Таблица 5. Отношение внутренней дозы к общей дозе облучения, %

| Вид | 1977— 1989 гг. | 2011— 2014 гг. | 2016— 2019 гг. |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Плотва | 24 | 24 | 79 |
| Лещ | 7 | 15 | 64 |
| Окунь | — | 59 | 94 |
| Щука | 61 | 92 | 98 |
| Карп: | | | |
| свободно- живущий | 4 | 5 | 15 |
| садковый | 94 | 99 | 99 |

дов. В табл. 6 показан вклад ^{137}Cs в суммарную дозу облучения рыбы Белоярского водохранилища.

Расчеты показали, что на первом этапе общая доза облучения всех представленных видов рыб была сформирована ^{137}Cs . На долю ^{90}Sr приходилось не более 2—3%. По мере снижения поступления ^{137}Cs в водоем-охладитель его вклад в формирование дозы облучения значительно уменьшился, преобладающим элементом в общей мощности дозы становится ^{90}Sr .

Таблица 6. Доля ^{137}Cs в формировании суммарной дозы облучения, %

| Вид | 1977— 1989 гг. | 2011— 2014 гг. | 2016— 2019 гг. |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Плотва | 97 | 77 | 30 |
| Лещ | 98 | 85 | 36 |
| Окунь | — | 57 | 14 |
| Щука | 97 | 13 | 3 |

Обращает на себя внимание существенная разница содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в формировании дозовой нагрузки ихтиофагов (окунь, щука) и эврифагов (плотва, лещ). Если на первом этапе у всех видов рыб при формировании дозы облучения преобладал ^{137}Cs (97—98%), то в последующем его доля уменьшилась у окуня до 14%, щуки до 3%, плотвы и леща до 30—36%. Это можно объяснить более высоким поступлением в организм ихтиофагов ^{90}Sr вместе с костной

тканью других видов рыб, входящих в их рацион питания.

Заключение. Представленные материалы охватывают период работы Белоярской АЭС с 1977 по 2019 г. За это время на АЭС эксплуатировались реакторы разных типов. На первом этапе функционировали два блока с тепловыми реакторами АМБ-100 и АМБ-200. С 1989 г. по 2016 г. был период, когда функционировал только один энергоблок БН-600. В настоящее время работают два энергоблока с быстрыми реакторами БН-600 и БН-800. Изменение мощности дозовых нагрузок на ихтиофауну водоема-охладителя по временным отрезкам совпадает с работой энергоблоков разных типов. Более высокие дозовые нагрузки отмечались в период работы первых двух энергоблоков. При этом следует отметить, что даже в этот период дозовые нагрузки на ихтиофауну не превышали безопасный предел 10 мкГр/ч [8, 9]. Минимальный уровень дозовых нагрузок на рыбу водоема совпал с работой энергоблоков с БН-600 и БН-800. За весь период наблюдения мощность общей дозовой нагрузки на основные виды рыб водоема-охладителя снизилась в десятки раз: плотвы — в 17,1 раза, леща — в 17,8 раза, щуки — в 2,6 раза, свободноживущего карпа — в 43,5 раза, садкового карпа — в 7,6 раза.

При снижении дозовых нагрузок на ихтиофауну водоема-охладителя изменились основные принципы формирования мощности дозовых нагрузок. Если на первом этапе основополагающим фактором при формировании мощности дозы являлось внешнее облучение ^{137}Cs , то в дальнейшем стало преобладать внутреннее облучение, основным дозообразующим элементом в водоеме становится ^{90}Sr . На начальном этапе более высокие показатели дозы облучения были отмечены у леща, карпа, плотвы. В последнее время дозовые нагрузки выше на ихтиофагов (окунь, щука) в результате поступления ^{90}Sr из костной ткани поедаемых ими рыб.

Более низкие дозовые нагрузки на всех этапах работы АЭС испытывал карп садкового хозяйства. Этот вид почти независим от внешнего воздействия, на 99% его мощность дозы формируется за счет внутреннего облучения, при выкармливании на искусственных кормах дозовые нагрузки будут минимальны. Это подтвер-

ждает целесообразность использования водоема-охладителя, находящегося под постоянным воздействием атомной станции, для разведения садковых видов рыбы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, тема № АААА-А19-119032090023-0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ленченко В.Г., Сажина Л.А., Шилкова Е.В. Санитарно-гигиенический очерк реки Пышмы и Белоярского водохранилища. — В сб.: XIII научная сессия Свердловского НИИ гигиены труда и профпатологии. Свердловск, 1964, с. 102—106.
2. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В. Динамика радиэкологического состояния пресноводных экосистем, подверженных многолетнему воздействию атомной электростанции в границах наблюдаемой зоны. — Радиационная биология. Радиоэкология, 2015, т. 55, № 2, с. 302—313.
3. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н. Радиэкологический мониторинг пресноводных экосистем. Т. IV. Екатеринбург: Изд-во АкадемНаука, 2019. 448 с.
4. Ежегодник. Обнинск, ФГБУ «НПО Тайфун», Росгидромет, 2012—2015
5. Ежегодник. Обнинск, ФГБУ «НПО Тайфун», Росгидромет, 2017—2020.
6. Зотина Т.А., Трофимова Е.А., Дементьев Д.В. Размерная зависимость накопления радиоцезия (^{137}Cs) в мышцах и телах щуки (*Esox Lucius*) р. Енисей. — Радиационная биология. Радиоэкология, 2019, т. 59, № 3, с. 321—328.
7. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. Под ред. Д.С. Павлова, А.Д. Мочка. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. 596 с.
8. Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И. Современные тенденции оценки радиационного экологического риска. Обзор. — Радиация и риск, 2020, т. 29, № 2, с. 128—138.
9. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. — Ann. ICRP, 2008, v. 38, № 4—6, 242 p.

Поступила в Редакцию 26.05.22

Р е ф е р а т ы

УДК 621.039.56

Куликов В.И., Жылмаганбетов Н.М., Кавун О.Ю., Попыкин А.И., Смирнова А.А., Старова Н.А., Шевченко Р.А., Шевченко С.А. Расчетное моделирование измерения эффективности аварийной защиты ВВЭР-1200. — Атомная энергия, 2022, т. 132, вып. 5, с. 251—259.

В статье рассматривается соотношение реактивности, рассчитанной из решения условно-критической задачи для плотности потока нейтронов, и ее значений, полученных по измеренным токам ионизационных камер. Эффективность аварийной защиты измеряли при физическом пуске энергоблоков № 6 и 7 Нововоронежской и № 5 Ленинградской АЭС. Ионизационные камеры находятся в бетоне биологической защиты. Для сопоставления измеренной и рассчитанной эффективности аварийной защиты используются результаты расчетного моделирования, в основе которого лежит расчет токов ионизационных камер. Проводится сравнение значений измеренных и рассчитанных величин. Рис. 7, список лит. 17 назв.

UDC 621.039.51

Kulikov V.I. (St. Petersburg Branch of JSC «FCSHT «SNPO "Eleron"») — «VNIPIET», Saint Petersburg), Zhylmaganbetov N.M., Kavun O.Yu., Popykin A.I., Smirnova A.A., Starova N.A., Shevchenko R.A., Shevchenko S.A. (SECNRS, Moscow). Numerical Simulation of Scram Efficiency Measurements of VVER-1000 Type Reactor and Comparison of Measured and Calculated Values. — Atomic Energy, 2022, v. 132, № 5, p. 251—259.

The paper reveals the ratio of reactivity calculated from the solution of conditionally critical problem for neutron flux

and reactivity obtained from measured currents of ionization chambers. Scram efficiency was measured during physical start-ups of units № 6 and 7 of Novovoronezh and № 5 of Leningrad Nuclear Power Plants. Ionization chambers are located in the concrete of biological protection. The results of numerical simulation of ionization chamber's current measurements have been used to compare the calculated and measured reactivities. The article presents the results of such comparison. Fig. 7, ref. 17.

УДК 621.039.51

Гуревич М.И., Дайченкова Ю.С., Калугин М.А., Олейник Д.С., Шкаровский Д.А. Исследование влияния функции ценности нейтронов на точность расчета эффективной доли запаздывающих и времени генерации мгновенных нейтронов по программе MCU. — Атомная энергия, 2022, т. 132, вып. 5, с. 259—264.

В настоящей работе изложены результаты расчетов и методика расчета параметров нейтронной кинетики без учета и с учетом функции ценности, реализованной в программе MCU. Для исследования влияния функции ценности нейтронов на точность расчета эффективной доли запаздывающих $\beta_{\text{эф}}$ и времени генерации мгновенных нейтронов Λ выполнены расчеты 19 критических экспериментов из сборника ICSBER. Анализ показал, что учет функции ценности уточняет расчет параметров нейтронной кинетики. Рис. 3, табл. 1, список лит. 14 назв.

Окончание см. на с. 305