

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАКТОРОВ ГРЯДУЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ДАННЫМИ

Андрианова О. Н., Жердев Г.М.,
Кислицына Т.С., Николаев М.Н.
(АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск)

Плутоний – топливо для грядущих реакторов

- В настоящее время все энергетические реакторы АЭС и корабельных установок снабжены надёжными вычислительными комплексами, позволяющими прогнозировать их физико-технические характеристики, как в режимах нормальной эксплуатации, так и в аварийных ситуациях. Однако все эти реакторы работают на урановом топливе, запасы которого способны обеспечить потребности атомной энергетики лишь на несколько десятилетий. Поскольку никаких альтернатив атомной энергетике не намечается, вовлечение в топливный цикл основного природного изотопа урана – U-238 – представляется неизбежным: ведь это расширит сырьевую базу атомной энергетики в сотни раз!

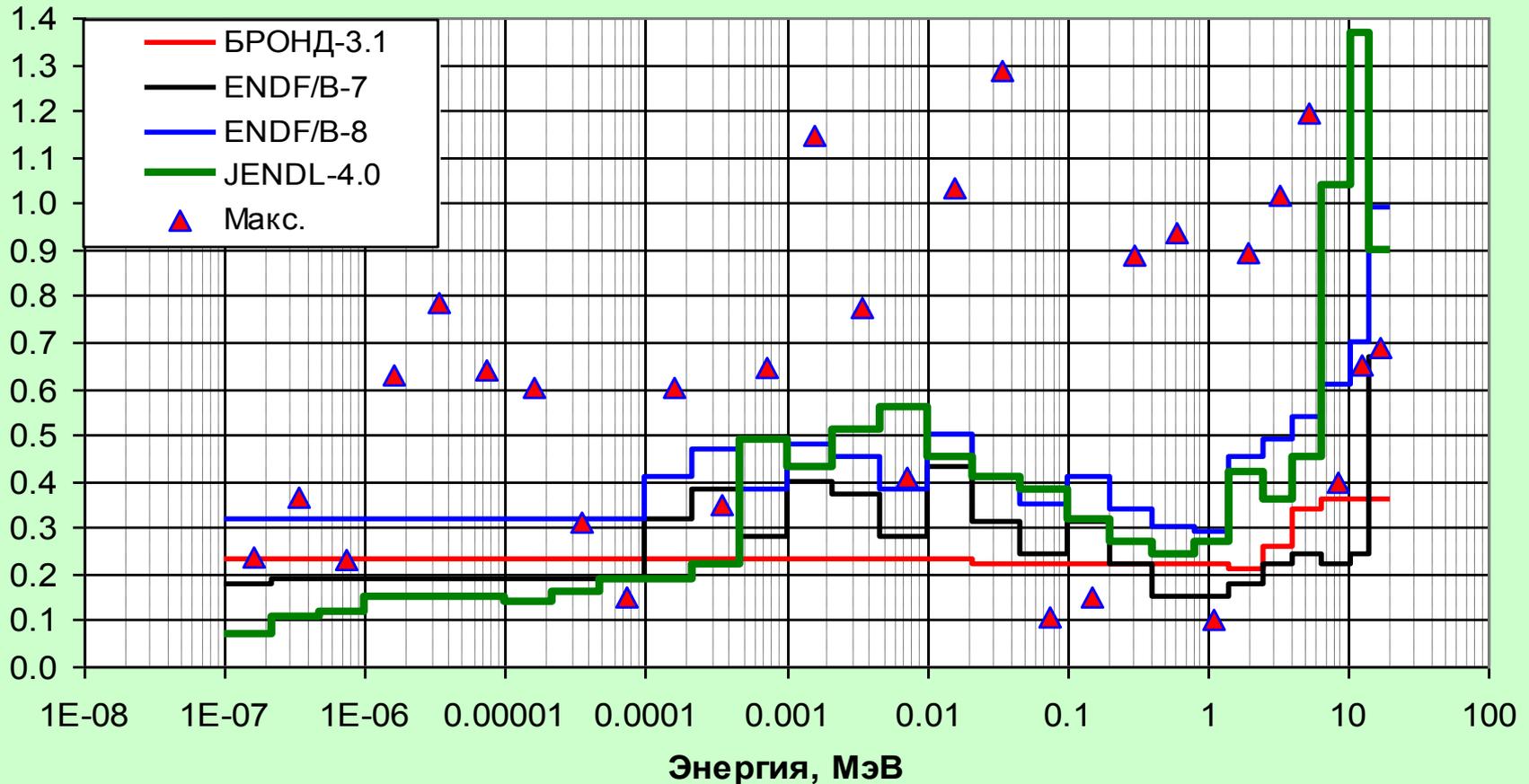
Как известно, для использования U-238 его надо превратить в делящийся изотоп Pu-239 путём поглощения в нём нейтрона. Это и происходит во всех действующих энергетических реакторах, работающих на урановом топливе: в их отработанном ядерном топливе (ОЯТ) содержится накопившийся плутоний, количество которого лишь немного уступает количеству выгоревшего в реакторе урану. Так что о недостатке плутония говорить не приходится: его вполне достаточно для развития атомной энергетики с реакторами на быстрых нейтронах, в которых плутония можно получать столько же, сколько выгорает или даже раза в полтора больше.

Рассмотрим насколько мы готовы к переходу на плутониевое топливо с точки зрения знаний о нейтронно-физических свойствах плутония.

Сколько плохо мы знаем нейтронные данные для плутония

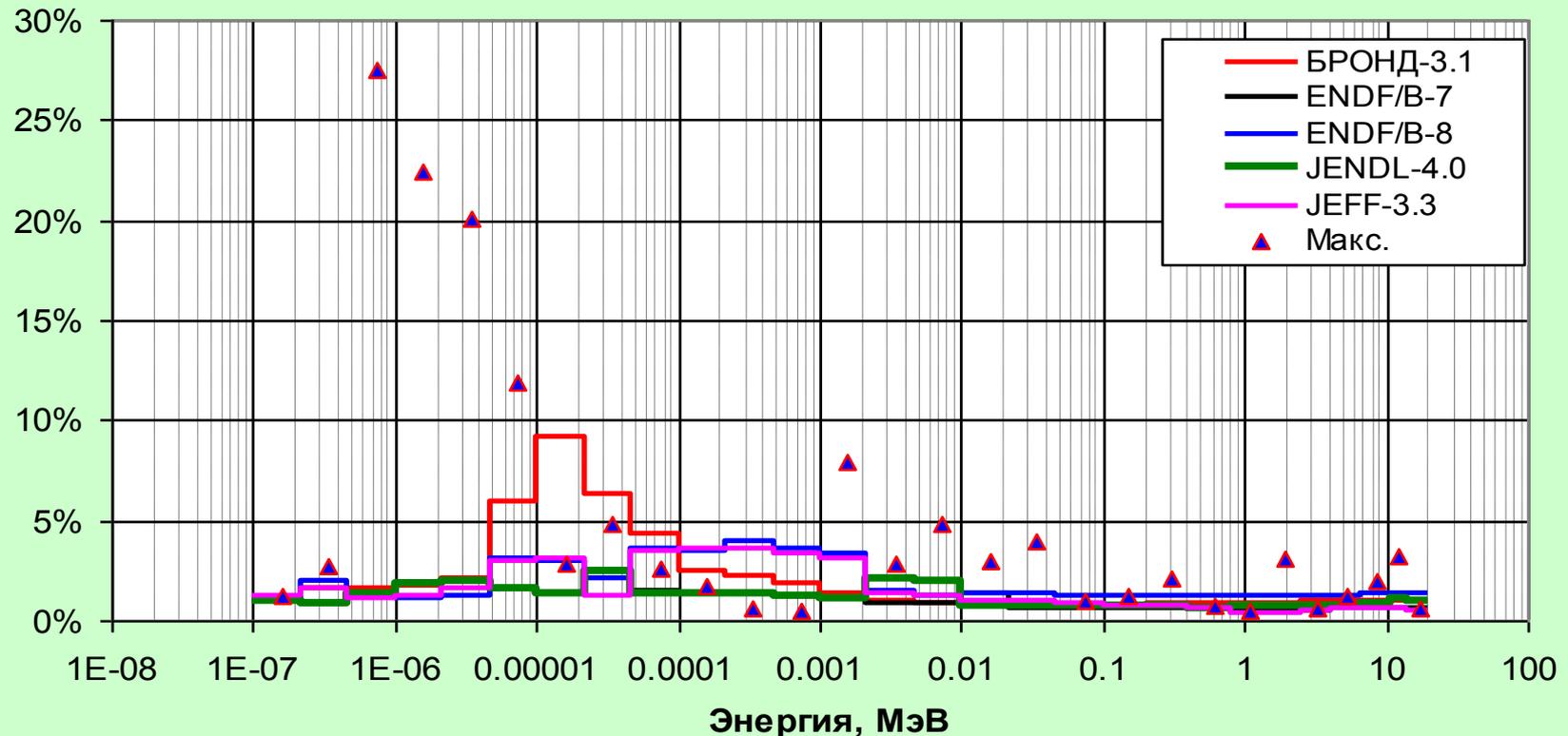
- Рассмотрим положение дел с нейтронными данными для основного изотопа плутония – Pu-239, приводимые в современных библиотеках оцененных данных, где даны и их погрешности («стандартные отклонения»)
- ENDF/B-VII (2011)
- ENDF/B-VIII (2017)
- JENDL-4.0 (2010)
- JEFF-3.3 (2017)
- РОСФОНД-2010 (сечения)+ БРОНД-3.3 (погрешности)

Погрешности числа вторичных нейтронов деления, %



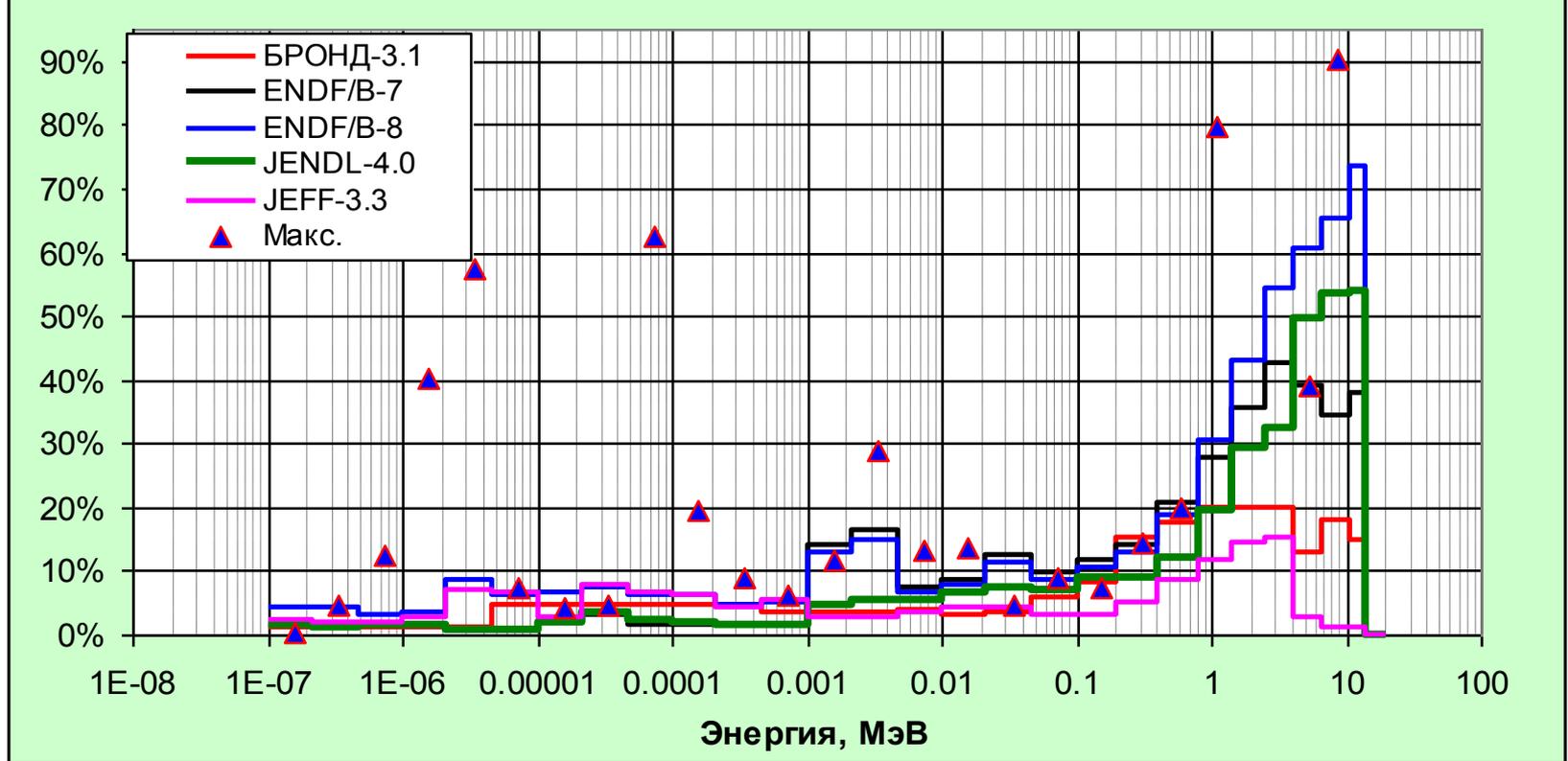
Ромбами указаны максимальные различия между оцененными данными из разных библиотек. Как видим, в доброй половине энергетических групп эти различия превосходят даже самые пессимистические оценки погрешностей, данные этими экспертами. Если разброс оцененных данных рассматривать как меру погрешности, придётся признать, что в области энергий выше 10 кэВ (область быстрых нейтронов) погрешность величины «ню» составляет примерно 1% (как в 70-х годах)

Погрешности сечения деления, %



Положение дел с погрешностями сечения деления ещё печальнее – особенно в области низколежащих резонансов (до 10 эВ), где разброс современных оцененных данных на порядок превышает оцененные погрешности. Число и положение низколежащих резонансов сохранились; изменились лишь параметры формулы Райха-Мура, алгоритмически подбираемые под экспериментальные данные. В базе данных EXFOR новых данных для этой области нет.

Погрешности сечения захвата, %



Аналогична ситуация и с погрешностями сечения радиационного захвата.

Отметим, что в процессе оценки нейтронных данных для каждой библиотеки в той или иной степени принимались во внимание и результаты расчётного анализа интегральных экспериментов. Поэтому вполне естественно, что при сравнении значений коэффициента размножения БН-1200 по разным библиотекам (о чём рассказывала в своём докладе О. Андрианова) достигает «только» 0.7 – 0.9%, т.е. ниже вклада погрешности одного только «ню». Однако и эта погрешность неприемлемо велика.

- Следует отметить, что в 60-е 70-е годы, когда начала развиваться современная атомная энергетика, точность нейтронных данных для основного топливного нуклида – U-235 – была отнюдь не более высокой, чем сейчас для плутония-239.
- Тем не менее, недостатки в знании нейтронных данных урана были преодолены и нейтронно-физические характеристики современных энергетических реакторов надёжно предсказываются стандартными средствами контроля без привлечения экспертов-ядерщиков.
- Чтобы добиться аналогичного результата при нынешнем уровне знания нейтронных данных плутония необходимо использовать накопленный опыт повышения точности расчётных предсказаний нейтронно-физических характеристик реакторов.
- На самом деле требуется более высокая точность расчётов т.к. повышенные технико-экономические требования снижают возможности компенсации просчётов штатными средствами.

■ Путь решения проблемы

- Чтобы при нынешнем уровне знания нейтронных данных плутония добиться необходимой точности расчёта нейтронно-физических характеристик (НФХ) реакторов необходимо использовать накопленный опыт повышения этой точности. Это должно выполняться поэтапно.
- Этап1. Обоснование допустимых погрешностей расчётного обоснования НФХ как это делалось при проектировании реакторов БН и ВВЭР и не делалось при проектировании РБМК. В результате неучёта динамики введения отрицательной реактивности при сбросе стержней СУЗ нажатие на кнопку АЗ-5 привело к чернобыльской катастрофе.
- Поэтому то, что разработчики БРЕСТа не проявляют интереса к оценкам погрешности данных о β -эфф вызывает тревогу.

Этап 2. Фиксация отраслевого стандарта на ядерные данные.

- Колоссальный разброс оцененных нейтронных данных для плутония свидетельствует о том, что ни одну из современных библиотек нейтронных данных нельзя признать безусловно приоритетной по точности содержащейся в ней информации – все они примерно в равной степени плохи. В этих условиях в качестве отраслевого стандарта предлагается принять библиотеку РОСФОНД, имеющую то преимущество, что она сопровождается «энциклопедией нейтронных данных», содержащей детальные обоснования отбора оцененных данных в эту библиотеку на основе анализа экспериментальных данных и сравнения с оценками из других библиотек.
- Данные этой библиотеки конвертированы в формы, адаптированные к использованию в программах расчёта реакторов и защиты как с учётом детальных энергетических зависимостей сечений, так и в групповом приближении (комбинированная библиотека – COLIBRY)

- COLIBRY включает и все необходимые не нейтронные ядерные данные – о взаимодействии гамма-квантов с веществом, об энерговыделении и образовании гамма-квантов при распаде радионуклидов, порождаемых в нейтронных реакциях, о допустимых дозовых факторах и пр.
- Известная вам система РОКОКО перерабатывает все эти данные в формы, требующиеся для расчётов методом Монте-Карло. Несложно настроить её и не подготовку констант для расчётов различными сеточными методами.
- Хранение отраслевого стандарта должно обеспечиваться службой Главного метролога, а обоснования его периодических (раз в 3 – 5 -10 лет) обновлений должны одобряться Комиссией по ядерным данным при этой службе.
- Целесообразно стандартизовать и алгоритмы использования стандартных ядерных данных в инженерных программах расчёта реакторов.

Этап.3.Обоснование методик повышения точности расчётных предсказаний на основе анализа данных интегральных экспериментов.

- Необходимо систематизировать накопленный опыт корректировки оцененных нейтронных данных на основе анализа результатов интегральных экспериментов весьма велик, ныне рассредоточенный по большому числу диссертаций и отчётов.
- О том, что этот опыт пока плохо осознан свидетельствует, например, то, что ни в одной библиотеке ковариационных данных не обеспечивается баланс дисперсий:
- из условия $\Sigma_t = \Sigma_s + \Sigma_f + \Sigma_a$ следует
- $\Delta_t^2 = \Delta_s^2 + \Delta_f^2 + \Delta_c^2 + 2\Delta_s \Delta_f C_{sf} + 2\Delta_s \Delta_c C_{sc} + 2\Delta_c \Delta_f C_{cf}$
- Δ –погрешности. $C_{cf} \leq 1$ – коэффициенты корреляции.
- Если такие ковариационные данные использовать при корректировке констант, могут получаться отрицательные сечения!
- Между тем в современных условиях, когда возможности непосредственного измерения сечений практически исчерпаны, уточнение нейтронных данных на основе анализа макроэкспериментов используя данные международных справочников ICSBER, IRPhEP, экспериментов на БФС. Бн-600, БН-800, БОР-60 является единственно возможным путём решения задачи.

- Заключительный этап работ будет включать проверку ожидаемой точности расчётных предсказаний на характеристиках реакторов нового типа, которые будут определяться и уточняться в процессе их эксплуатации.
- Главная проблема в преодолении пути, намеченной очерченной дорожной картой состоит в организации работы тех немногих специалистов, которые способны её выполнить. Ныне эти специалисты разобщены по разным институтам и лабораториям.
- Хочется надеяться, что под руководством отраслевого метролога работа сможет быть организована и выполнена до того, как необходимая информация будет утрачена. Поскольку способных к делу специалистов не наберётся и десяти, финансирование работ не слишком обременит ГК Росатом. К тому же без организации работ по использованию результатов интегральных экспериментов для совершенствования константного обеспечения немалые затраты на модернизацию стенда БФС и проведения экспериментов на нём едва ли будут оправданы.