

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМАМ, СВЯЗАННЫМ С РЕСУРСОМ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС ЗА ПЕРИОД 1980-2001 гг.

*А.Г. Шепелев, Л.Д. Юрченко, Л.В. Пантеенко
ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

Представлены результаты компьютерного анализа материалов публикаций 1980-2001 гг., введенных в Международную Базу Данных МАГАТЭ "International Nuclear Information System", по проблемам, связанным с исследованиями основного оборудования и трубопроводов АЭС типа ВВЭР, PWR, BWR, FBR. Рассмотрены такие группы свойств материалов, как: разрушение, целостность и деградация компонент, ползучесть, усталость и старение; охрупчивание и распухание; коррозия; термоудар; отжиг и залечивание материала; вопросы срока службы и его продление.

Проблемы работоспособности материалов атомных реакторов приобрели в настоящее время особое значение ввиду длительных сроков эксплуатации большинства реакторов мира. Дорогостоящие реконструкция или восстановление мощностей выводимых из эксплуатации АЭС, видимо, отнюдь не всегда могут быть профинансированы.

Тем не менее, уже сейчас видно, что назначенный на этапе проектирования срок службы ряда АЭС может быть увеличен, что связано с неточностями оценки запасов прочности и надёжности конструкций. Основным затруднением при этом является отсутствие научно-обоснованной методологии и нормативной базы для обоснования возможности увеличения ресурса оборудования АЭС и проектных сроков эксплуатации [1]. Так, например, важнейшая проблема для определения срока службы реактора – скорость увеличения охрупчивания корпуса реактора.

Воспользовавшись автоматизированной Базой Данных МАГАТЭ "International Nuclear Information System" (БД INIS) мы провели количественный анализ динамики публикаций мирового научного сообщества за последние 20 лет по ряду важнейших характеристик оборудования реакторов ВВЭР, PWR, BWR, FBR: 1) корпуса реакторов; 2) внутри-корпусные устройства; 3) активная зона; 4) паро-генераторы; 5) насосы; 6) трубопроводы.

Такой массив публикаций (около 5 тыс. работ) позволяет оценить, в каких направлениях ведутся исследования и разработки, по каким типам реакторов и специалистами каких стран. Для анализа были выбраны такие группы характеристик материалов: 1) разрушение, целостность и деградация компонент, усталость, старение, ползучесть; 2) охрупчивание, гелиевое и водородное охрупчивание, распухание; 3) коррозия, коррозия под напряжением и межзёрная коррозия; 4) термоудар; 5) отжиг и залечивание материала; 6) вопросы срока службы и его продления.

Анализировалось развитие всех перечисленных исследований и разработок во времени и интеграль-

ный вклад основных стран. При этом было использовано около 60 ключевых слов и понятий.

1. КОРПУСА

Рис. 1 – 6 показывают динамику исследований корпусов всех типов реакторов по характеристикам.

Видно, что для всех реакторов, кроме быстрых, наблюдается устойчивое нарастание публикаций по всем направлениям, основной вклад (~ 60%) в исследования группы свойств "разрушение" корпусов внесли специалисты США, Германии, Японии. Большая часть исследований связана с корпусами PWR.

Вопросы охрупчивания и распухания исследовались, в основном, в США, России, Чехо-словакии, Франции, Германии (~ 51% работ). Отметим, что начиная с 1993-1994 гг., исследования охрупчивания и отжига корпусов ВВЭР обгоняют подобные исследования для PWR.

Определяющий вклад (~ 54%) в исследования коррозии (в основном по реакторам PWR и BWR) дали две страны – Япония и США. Обращает на себя внимание вклад 4% Ю.Кореи.

Вопросы изучения термоударов, в основном по реакторам PWR, изучались специалистами трёх стран – США, Германии, Японии (~ 51%).

Три страны – Россия, Чехословакия и США дали основной вклад (~ 52%) в исследования отжига и залечивания материала корпусов, особенно по реакторам ВВЭР.

Кругу вопросов, посвящённых сроку службы корпусов, основное внимание уделяли учёные США, России, Японии, Чехословакии, Германии и Франции (~ 71%).

2. ВНУТРИКОРПУСНЫЕ УСТРОЙСТВА

Основные исследования ВКУ связаны с группой свойств "разрушение" (рис. 7), особенно по реакторам PWR. При этом около 50% работ выполнено в Японии, Германии и Франции. Бразилия и Китай соответственно дали вклад 4% и 2,2%.

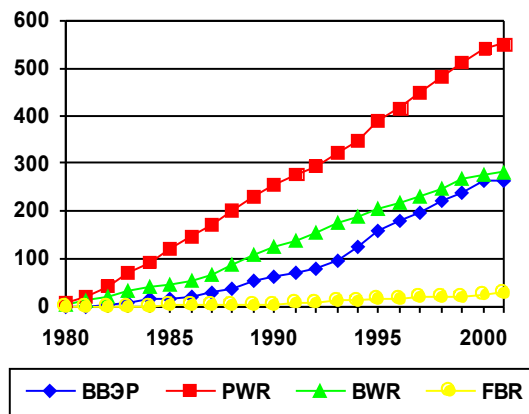
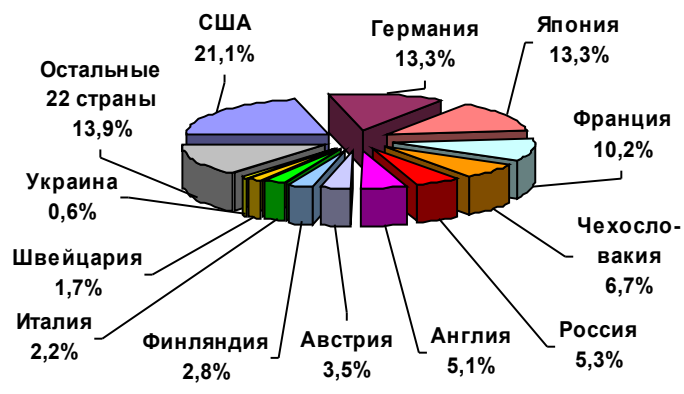


Рис. 1. Динамика исследования разрушения, целостности и деградации компонент, усталости, старения, ползучести корпусов реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

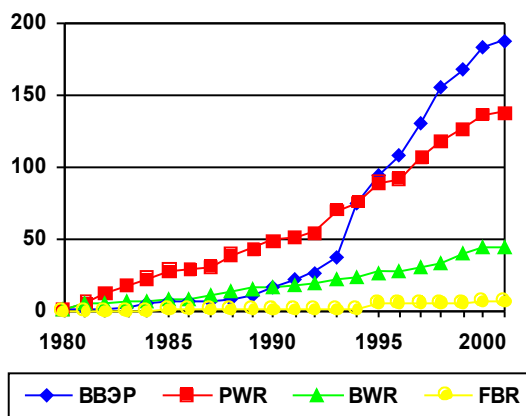
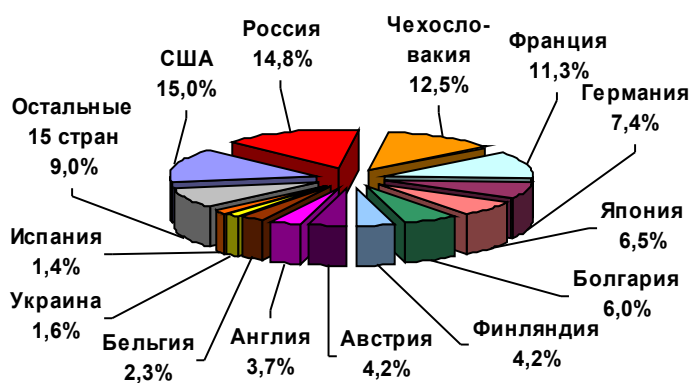


Рис. 2. Динамика исследования охрупчивания и распухания корпусов реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

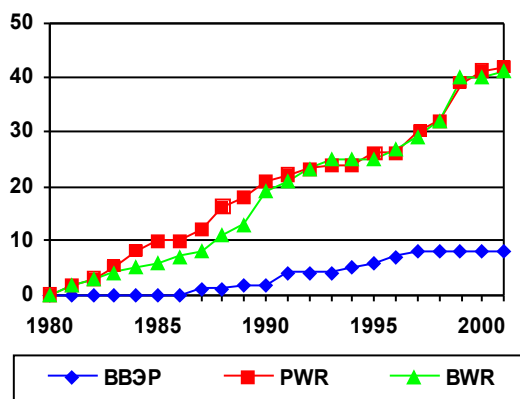
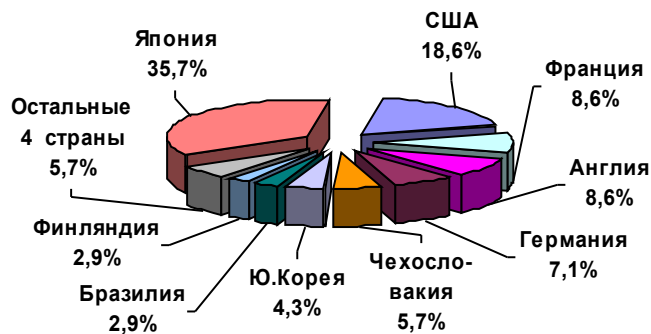


Рис. 3. Динамика исследования коррозии корпусов реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

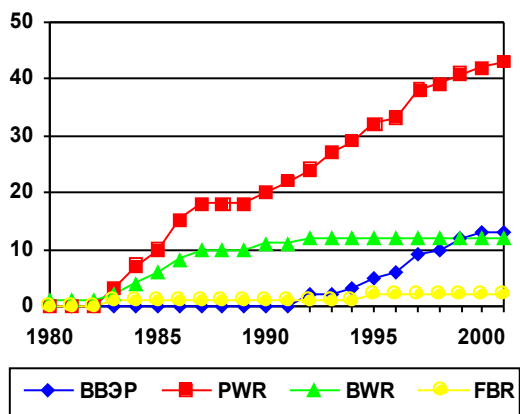
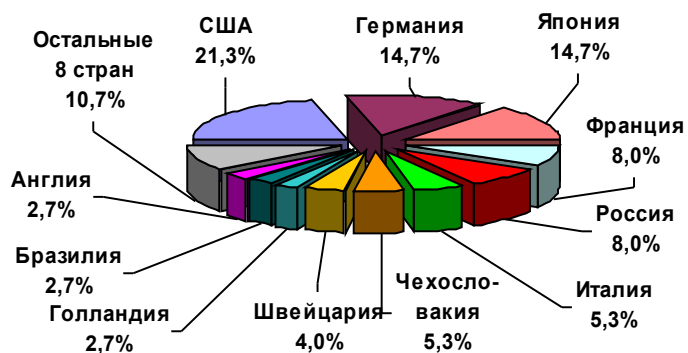


Рис. 4. Динамика исследования термоудара корпусов реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

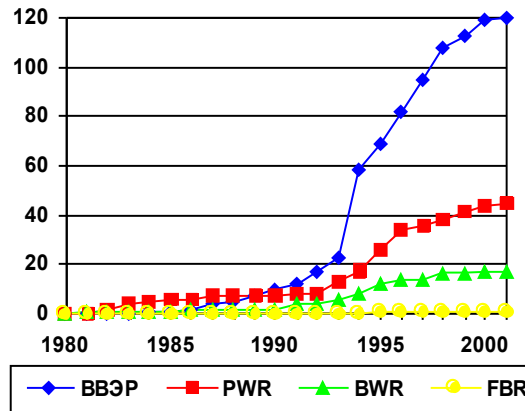
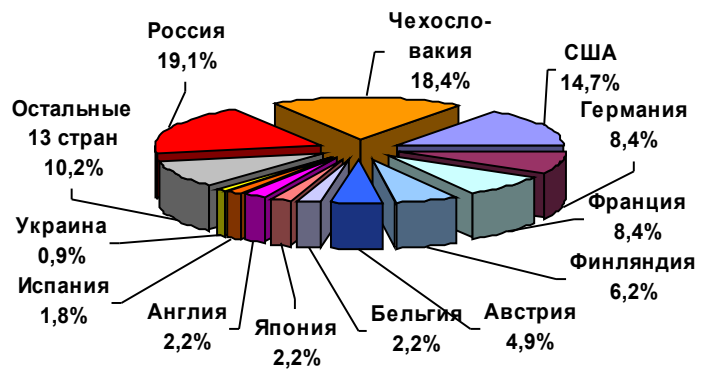


Рис. 5. Динамика исследования отжига и заживления материала корпусов реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

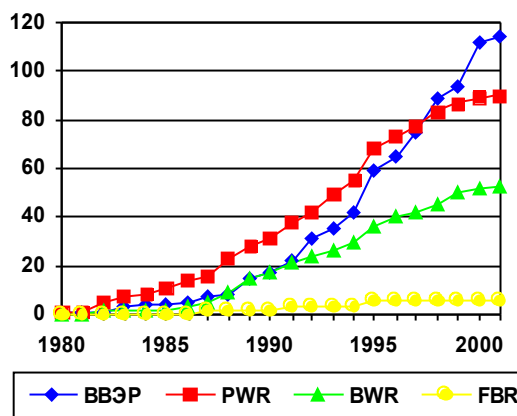
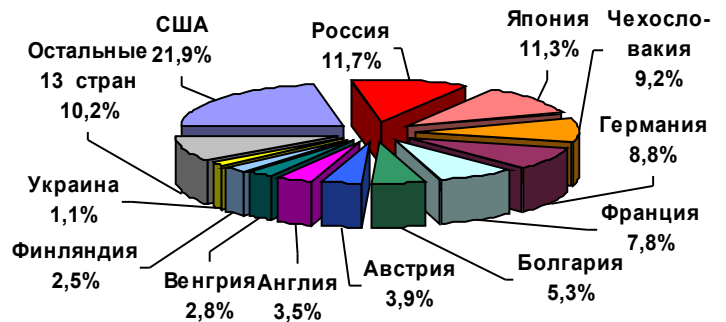


Рис. 6. Динамика исследования вопросов срока службы и его продления для корпусов реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

Охрупчивание и распухание ВКУ (рис. 8) изучались в основном в США, Германии и Франции (~56% работ). Ю.Корея внесла 2,9% от общего числа работ.

По вопросам срока службы (большая часть работ связана с исследованиями PWR) три страны – США, Германия и Россия дали ~ 53% всех работ (рис. 9).

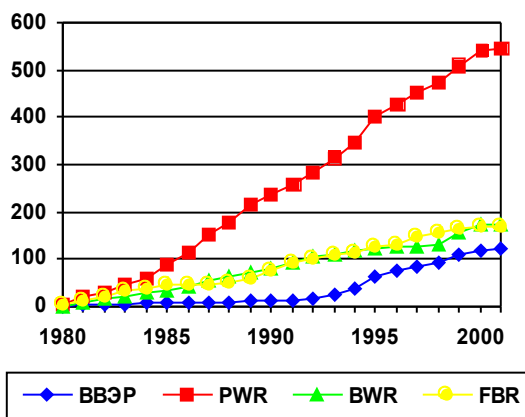
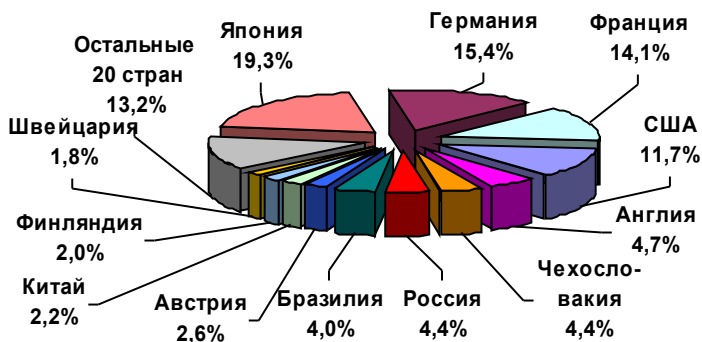
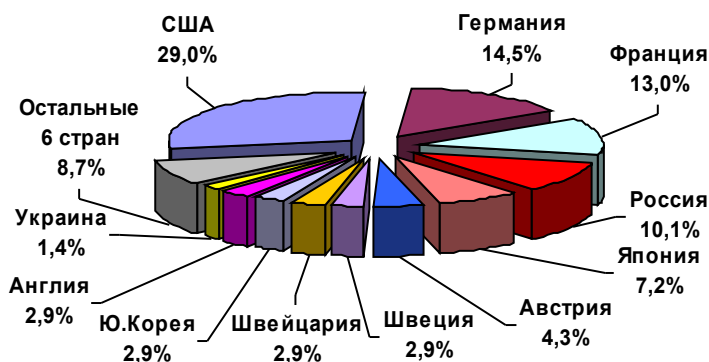


Рис. 7. Динамика исследования разрушения, целостности и деградации компонент, усталости, старения, ползучести внутрикорпусных устройств реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран



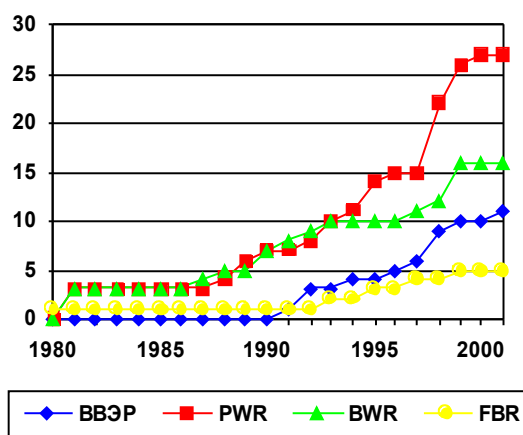


Рис. 8. Динамика исследования охрупчивания и распухания внутрикорпусных устройств реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

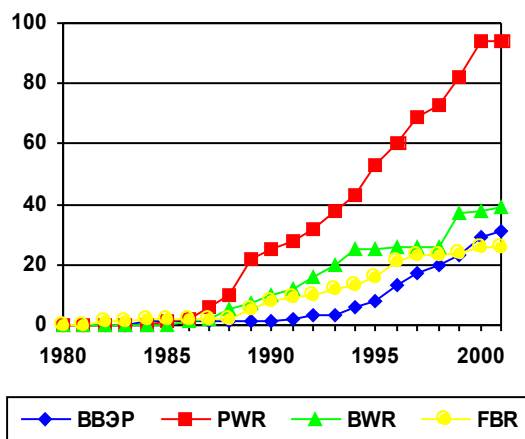
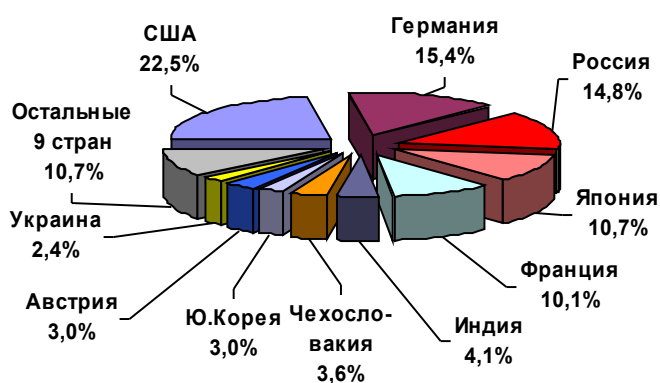


Рис. 9. Динамика исследования вопросов срока службы и его продления для внутрикорпусных устройств реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

3. АКТИВНАЯ ЗОНА

По группе свойств "разрушение" Японии, США и Германии дали 50% всех опубликованных работ (рис. 10). Ю.Корея, Бразилия и Китай внесли соответственно 3,5, 2,8 и 1,7%.

Охрупчивание и распухание (рис. 11) изучалось, в основном, в Японии, Франции и России (~ 50% работ). По вопросам срока службы активных зон ~ 60% работ дали две страны – Япония и Россия (рис. 12); Ю.Корея дала 2,9% работ.

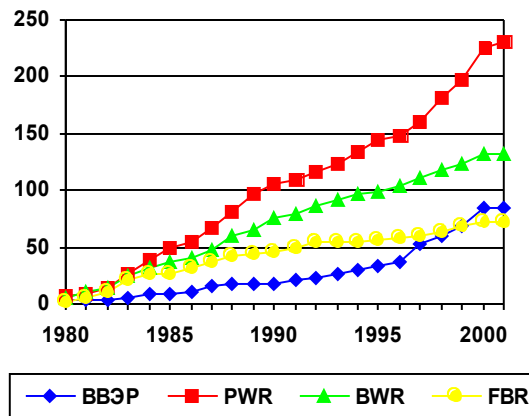
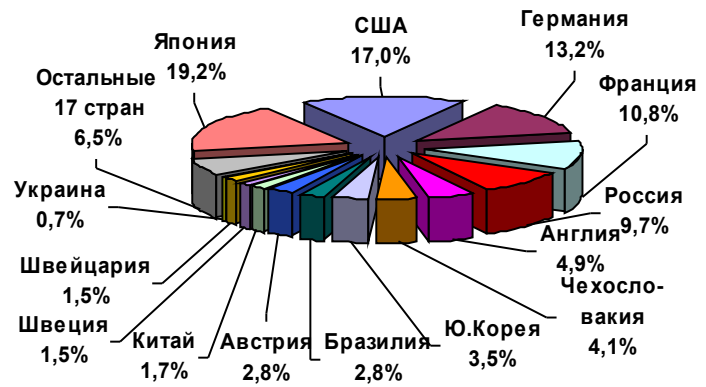


Рис. 10. Динамика исследования разрушения, целостности и деградации компонент, усталости, старения, ползучести активных зон реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

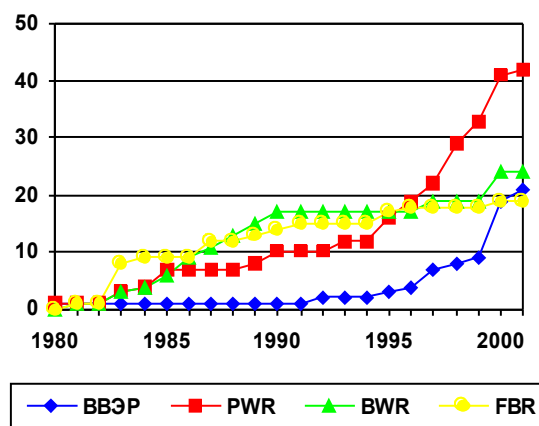
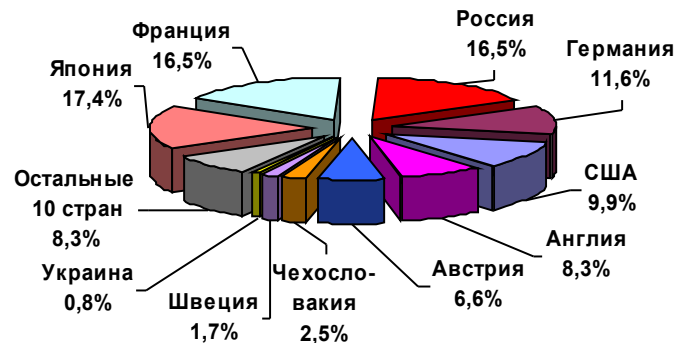


Рис. 11. Динамика исследования охрупчивания и распухания активных зон реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

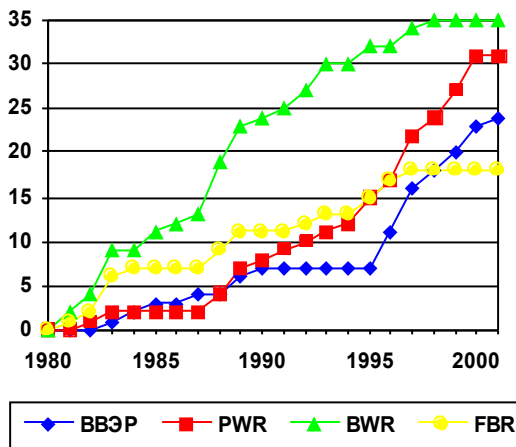
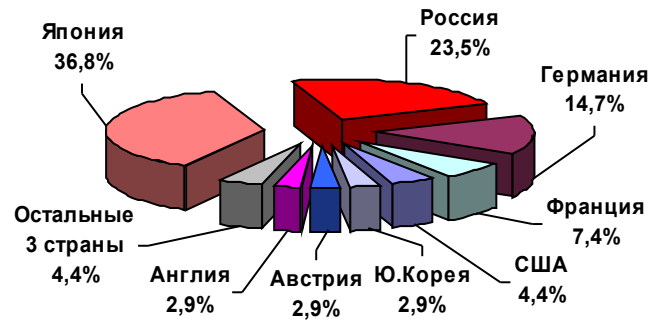


Рис. 12. Динамика исследования вопросов срока службы и его продления для активных зон реакторов различного типа и интегральный вклад основных стран

4. ПЕРВАЯ СТЕНКА

Результаты компьютерного анализа развития исследований по проблеме первой стенки термо-ядерных реакторов изображены на рис. 13. Видно, что основное количество работ связано с исследованием. Отметим, что две страны – США и Япония дали вклад в 65%; специалистами Китая выполнено 2,2% всех исследований.

Распределение вклада стран в исследования термоудара приведено на рис. 16. Видно, что Япония, Германия и США внесли основной вклад (~74%) в эти исследования; Китай дал около 3%.

ми группы свойств "разрушение". На рис. 14 изображен вклад стран в эти исследования; США, Япония и Германия внесли вклад ~75%.

Рис. 15 отражает интегральный вклад всех стран в изучение охрупчивания и распухания.

Рис. 17 и 18 показывают, что в исследования по отжигу и залечиванию материала, а также сроку службы первой стенки основной вклад внесен учёными США, Японии и Германии (соответственно ~58% и ~74%).

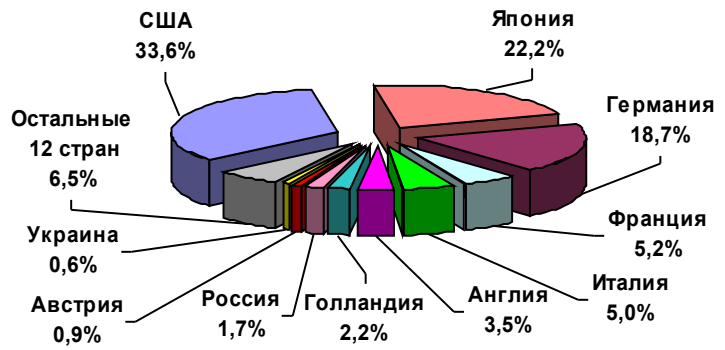


Рис. 14. Вклад основных стран в исследования группы свойств "разрушение" для первой стенки

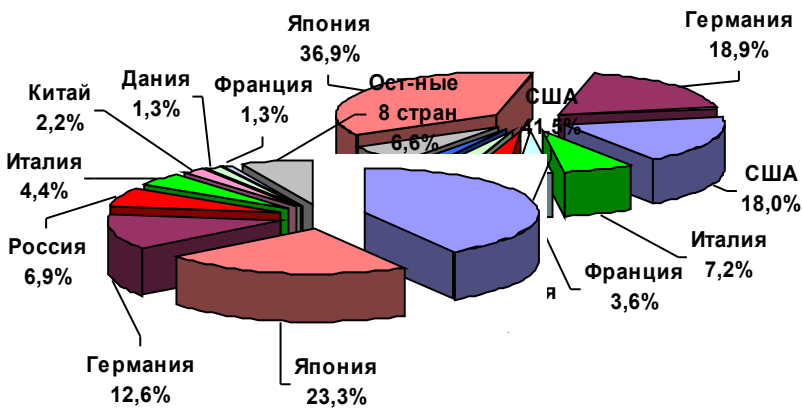
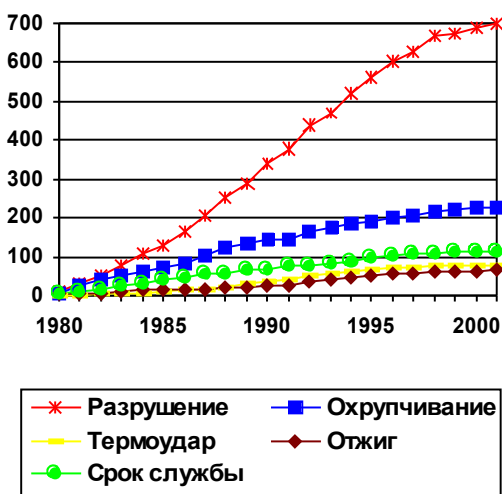


Рис. 16. Вклад стран в исследования термоудара первой стенки

Рис. 15. Вклад основных стран в исследования охрупчивания и распухания первой стенки

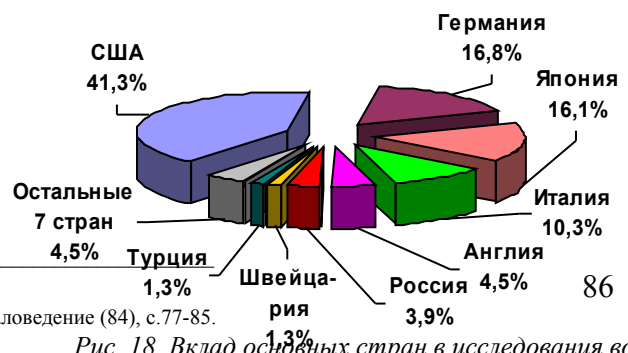
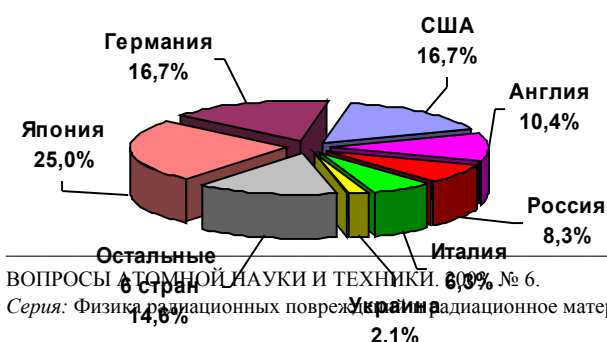


Рис. 18. Вклад основных стран в исследования вопросов срока службы и его продления для первой стенки

5. ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

Рис.19 и 20 показывают динамику исследований охрупчивания и распухания, а также коррозии парогенераторов реакторов типа ВВЭР и PWR. Видно, что большая часть работ выполнена для реакторов

генераторов реакторов типа ВВЭР и PWR. Видно, что большая часть работ выполнена для реакторов

PWR. Учёные Франция, Япония и США опубликовали подавляющее количество работ (около 60%).

Исследованию вопросов срока службы посвящено мало работ (см. рис. 21); 50% работ выполнено Чехословакией и США.

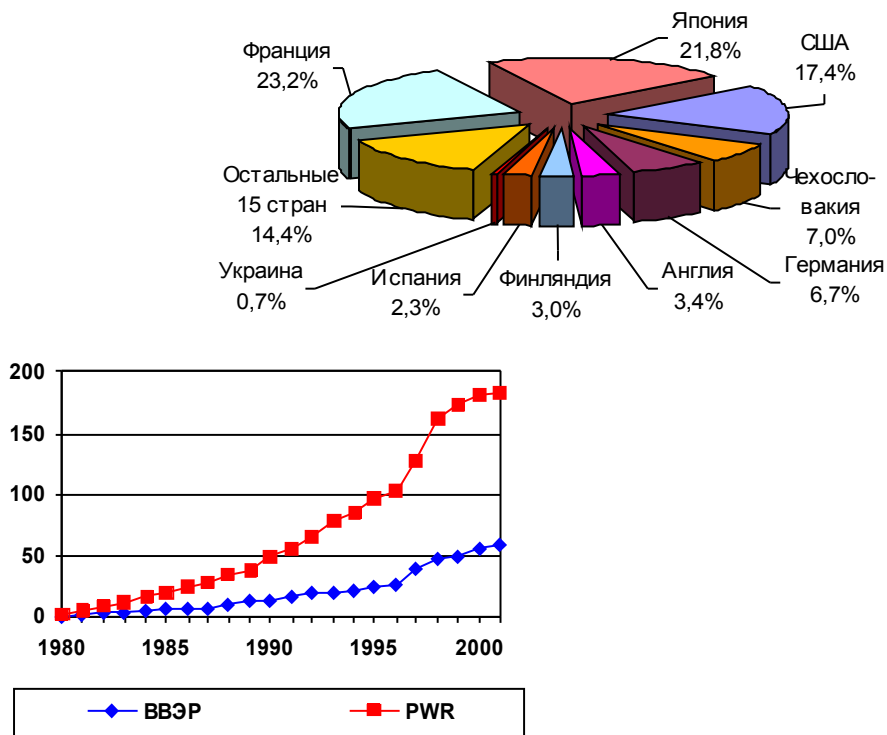
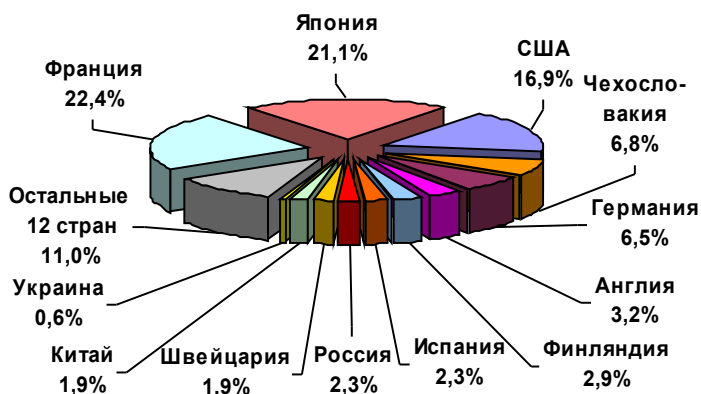


Рис. 19. Динамика исследования охрупчивания и распухания парогенераторов реакторов и вклад основных стран в эти исследования



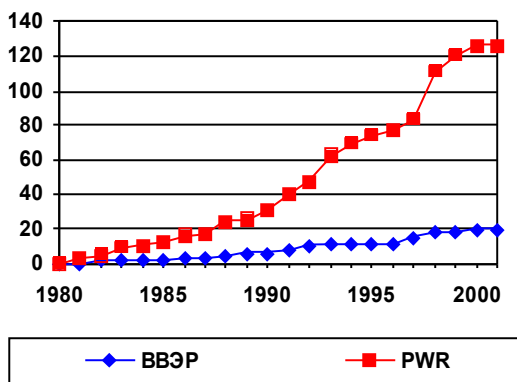


Рис. 20. Динамика исследования коррозии парогенераторов реакторов и вклад основных стран в исследование по этой проблеме

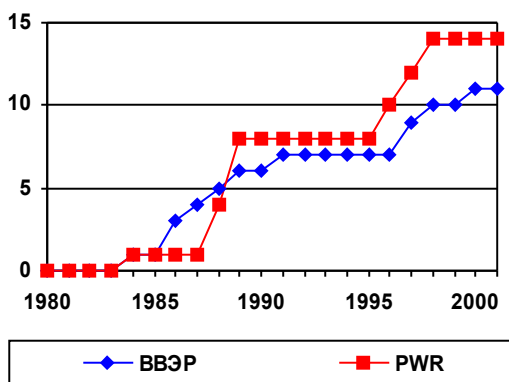
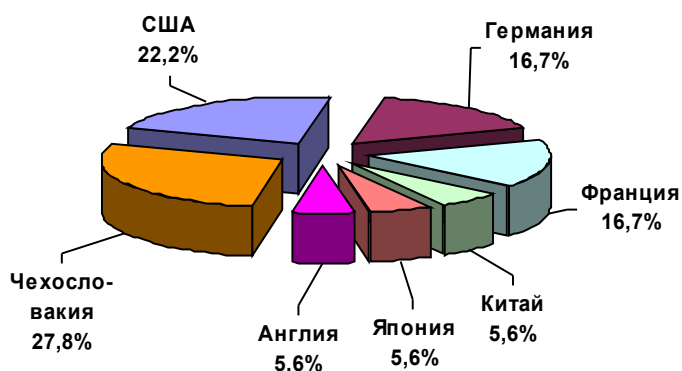


Рис. 21. Динамика исследования вопросов срока службы парогенераторов реакторов и вклад основных стран в эти исследования

6. НАСОСЫ

Динамика исследований охрупчивания и срока службы насосов приведены на рис. 22 и 23. Видно,

что около 60% работ выполнено специалистами США и Японии.

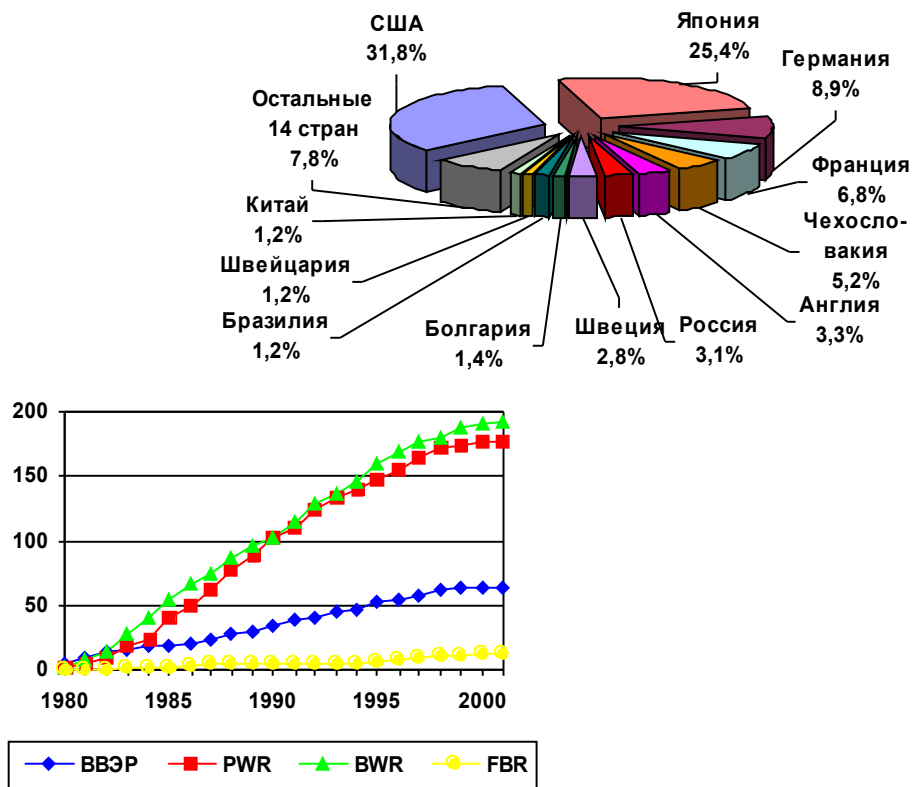


Рис. 22. Динамика исследования охрупчивания насосов АЭС и вклад основных стран в эти исследования

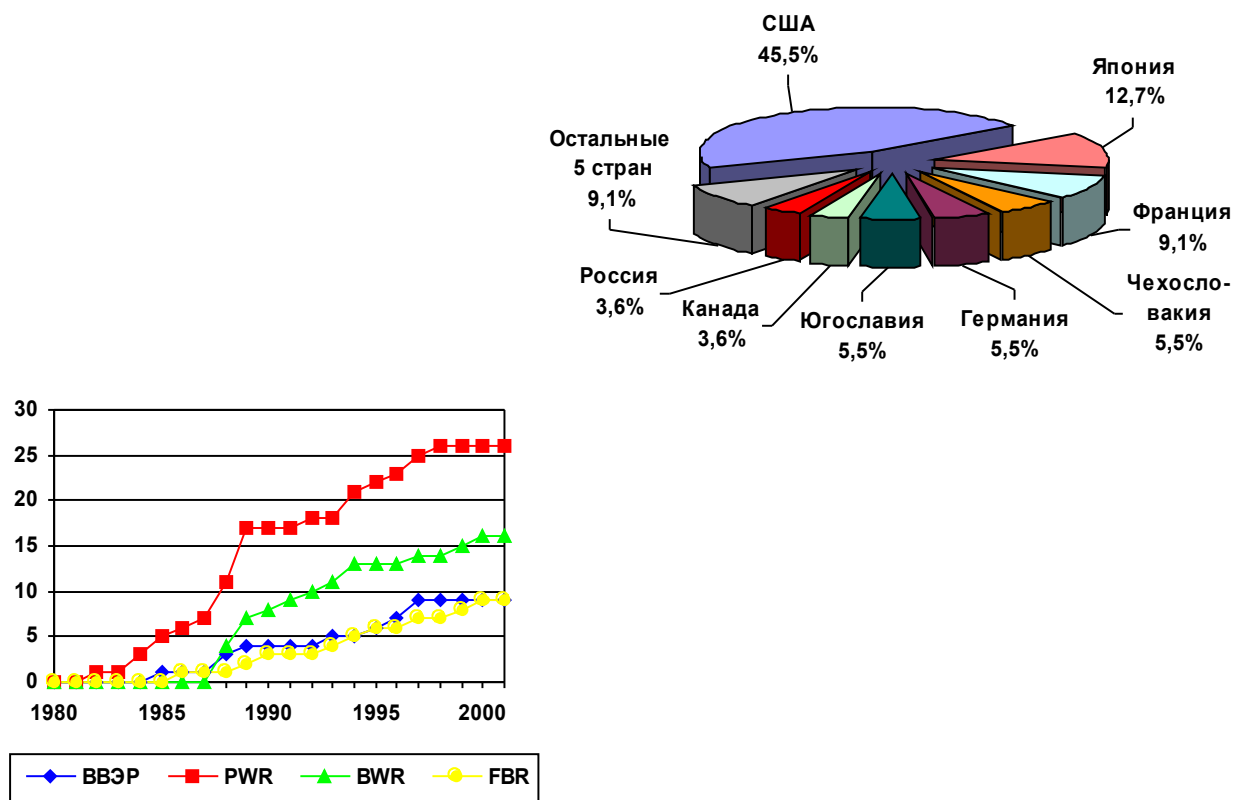


Рис. 23. Динамика исследований срока службы насосов АЭС и вклад основных стран в исследования по проблеме

7. ТРУБОПРОВОДЫ

Динамика исследования разрушения и коррозии трубопроводов приведены на рис. 24 и 25; примерно 70% работ выполнено в США, Японии и Германии.

Вопросу срока службы трубопроводов (рис. 26) посвящено мало публикаций; основное количество работ выполнено в России и Чехословакии (~ 77%).

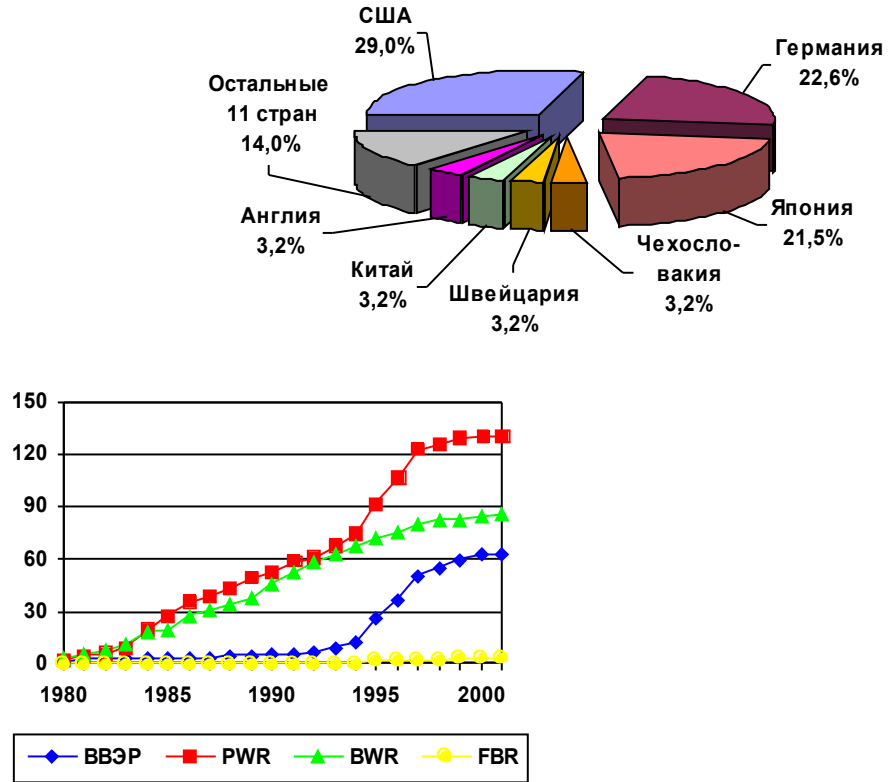


Рис. 24. Динамика исследования разрушения трубопроводов АЭС и вклад основных стран в эти исследования

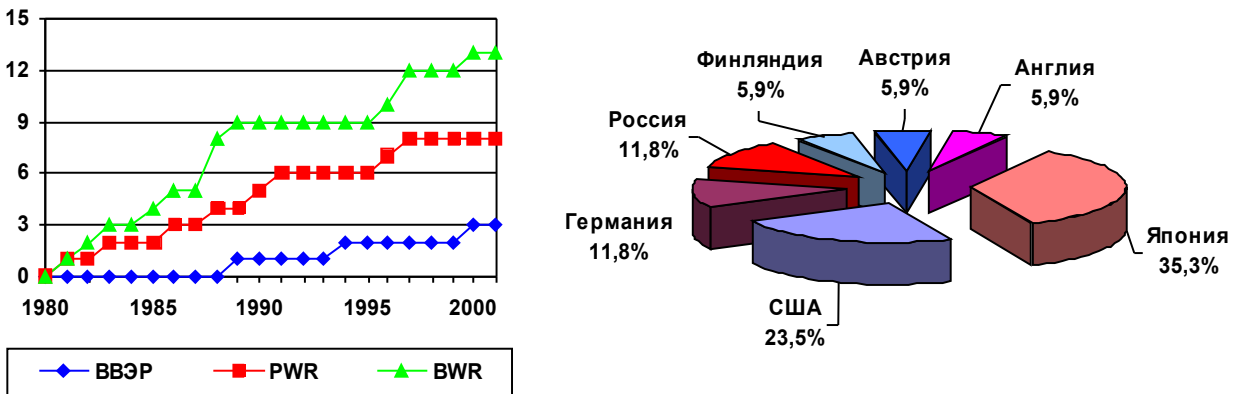


Рис. 25. Динамика исследования коррозии трубопроводов АЭС и вклад основных стран в исследования по этой проблеме

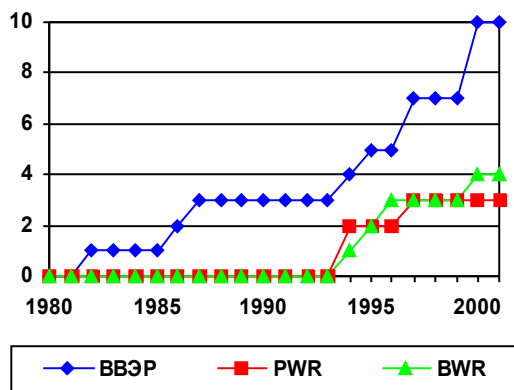
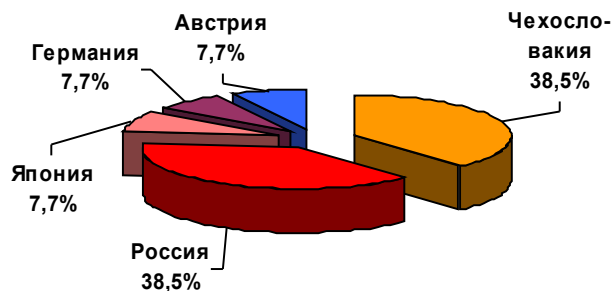


Рис. 26. Динамика исследования срока службы трубопроводов АЭС и вклад основных стран в эти исследования

При анализе всех полученных в статье результатов следует учитывать два обстоятельства:

1) БД "INIS", использованная при построении всех диаграмм, содержит не все публикации, а только те отчёты, статьи, патенты, которые введены в БД странами - членами МАГАТЭ;

2) из-за того, что страны вводят в БД "INIS" материалы с разной скоростью, имеется временной лаг (2...3 года) от момента публикации до ввода рефе-

рата в БД, что отражается на динамике всех публикаций за последние годы обозреваемого периода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Implementation and review of nuclear power plant ageing management program. IAEA //Safety Reports Series, #15, Vienna, 1999, p.35.

ДИНАМІКА РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПРОБЛЕМАМ, ПОВ'ЯЗАНИМ З РЕСУРСОМ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВІДІВ АЕС ЗА ПЕРІОД 1980-2001 гг.

А.Г. Шепелев, Л.Д. Юрченко, Л.В. Пантєєнко

Представлено результати комп'ютерного аналізу матеріалів публікацій 1980-2001 рр., введених в Базу Даних МАГАТЭ "International Nuclear Information System", відносно проблем, пов'язаних з дослідженнями основного обладнання та трубопроводів АЕС типу ВВЕР, PWR, BWR, FBR. Розглянуто групи властивостей матеріалів: руйнування, цілісність та деградація компонент; позучість, втома та старіння; окрихчування та розпухання; коррозія; термоудар; відпал та залікування матеріалу; питання терміну служби.

PROGRESS OF RESEARCH ON THE PROBLEMS RELATED TO THE OPERATING LIFE OF BASIC EQUIPMENT AND PIPELINES OF NPP POWER UNITS OVER THE 1980-2001 PERIOD

A.G. Shepelev, L.D. Yurchenko, L.V. Panteenko

Results are reported from the computer-aided analysis of publications of 1980-2001, introduced into the IAEA DB INIS, on the problems associated with basic equipment and pipelines of NPP with WWER-, PWR-, BWR-, FBR-type reactors. The following properties of materials were considered: failure; integrity and degradation of components; creep; fatigue and aging; embrittlement and swelling; corrosion; thermal shock; annealing and healing; service life.