

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПО ПЕРСПЕКТИВНЫМ ЭЛЕКТРОЯДЕРНЫМ СИСТЕМАМ

**В. Ф. Клепиков¹, В. Ю. Корда¹, А. Г. Шепелев², А. С. Молев¹,
Л. П. Корда¹, О. В. Немашкало², Т. А. Пономаренко², Л. Д. Юрченко²**

¹*Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины, Харьков, Украина*

²*ННЦ “Харьковский физико-технический институт” НАН Украины, Харьков, Украина*

С целью определения основных тенденций развития электроядерных (управляемых ускорителями) систем для безопасного производства ядерной энергии и трансмутации ядерных отходов проанализированы тексты около 4000 рефератов по тематике исследования, содержащихся в двух полных Международных базах данных: ядерной “International Nuclear Information System” и политематической SCOPUS. Динамика информационных потоков по исследуемой теме характеризуется быстрым ростом количества публикуемой информации. Результаты исследований свидетельствуют об актуальности, перспективности и необходимости развития электроядерных технологий в Украине.

1. Введение

Существует общее устойчивое убеждение, что промышленное производство энергии с помощью ядерно-физических методов в XXI в. должно удовлетворять следующим условиям (см., например, [1 - 4]):

1. Детерминистическая, т.е. обусловленная законами природы, а не сложностью защитных технологий, безопасность. Применяемые в настоящее время ядерные системы крайне неустойчивы в отношении ошибок обслуживающего их персонала, природных катаклизмов (землетрясения, наводнения и т. д.) и, что особенно актуально, спланированных террористических действий.

2. Принципиальная, т.е. обусловленная законами природы, а не уровнем охраняемости, невозможность распространения ядерных технологий и материалов для производства ядерного оружия.

3. Минимальная суммарная радиотоксичность нарабатываемых долгоживущих отходов.

4. Возможность эффективной трансмутации накопленных к настоящему времени радиоактивных отходов существующих ядерных установок.

5. Существенное увеличение глубины выгорания уже используемого ядерного топлива, повторное использование отработанного топлива, вовлечение в топливный цикл новых элементов, имеющих в изобилии в природе (например, торий), а также элементов, нарабатываемых в процессе функционирования ядерных установок.

Анализ указанных выше условий естественно приводит к идее применения ускорителей частиц для “подсветки” ядерно-физических установок, которые, при этом, могут функционировать в “подкритическом” режиме, компенсируя недостаток нейтронов в активной зоне за счет дополнительного их притока от нейтронного источника, управляемого ускорителем. Таким образом, представляется интересным выяснить текущее состояние работ по исследованию и применениям управляемых ускорителями систем для безопасного производства ядерной энергии и трансмутации ядерных отходов.

Нами проанализированы две полные Международные базы данных (БД): ядерная “International Nuclear Information System” (INIS) и политематическая SCOPUS. Первая содержит более 2,4 млн. рефератов статей из журналов, отчетов и других информационных документов по мирному использованию атомной энергии, введенных государствами-членами МАГАТЭ с 1970 года. Вторая охватывает рефераты из 14 тыс. наименований журналов с 1966 года. В каждой из БД мы провели автоматизированный анализ динамики информационных потоков по следующим ключевым словам: *accelerator driven*, *electronuclear*, *energy amplifier* и *subcritical assembly*. Общее количество найденных рефератов составило около 4000. При этом анализ текстов рефератов показал, что ссылки в значительной мере перекрываются и поэтому мы ограничились ключевыми словами *accelerator driven* и *electronuclear*, дополнительно отбросив рефераты, не относящиеся прямо к теме исследования.

2. Результаты исследования и их обсуждение

Общее число найденных рефератов в БД INIS составило 2269 по тематике „*accelerator driven systems*” (рис. 1) и 278 по тематике „*electronuclear systems*” (рис. 2). Общее число найденных рефератов в БД SCOPUS составило 487 по тематике „*accelerator driven systems*” (рис. 3) и 99 по „*electronuclear systems*” (рис. 4).

Сравнение рис. 1, а и рис. 3, а, а также рис. 2, а и рис. 4, а показывает, что характеры кривых кумулятивного роста числа публикаций в БД INIS и SCOPUS весьма схожи. Так как основная часть материалов, обнаруженных в БД INIS, представляет собой труды конференций и отчеты (рис. 1, б и 2, б), а в БД SCOPUS представлены в основном журнальные статьи (рис. 3, б и 4, б), тематика электроядерной энергетики объективно актуальна.

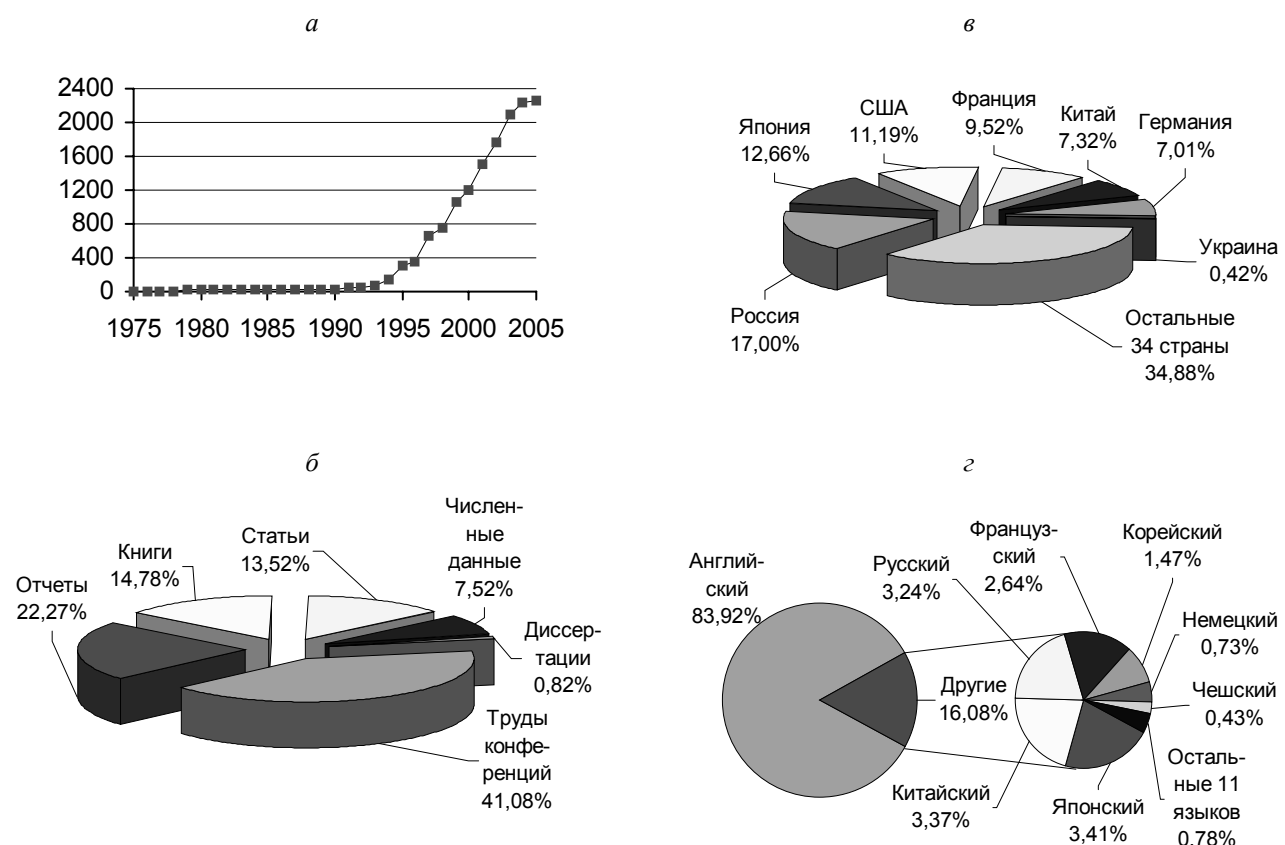


Рис. 1. Результаты анализа БД INIS по теме: системы, управляемые ускорителями (accelerator driven systems). Кумулятивный рост числа публикаций (а). Распределение по типам опубликованных материалов (б). Вклад специалистов разных стран в проведение работ по тематике (в). Распределение публикаций по языкам (г).

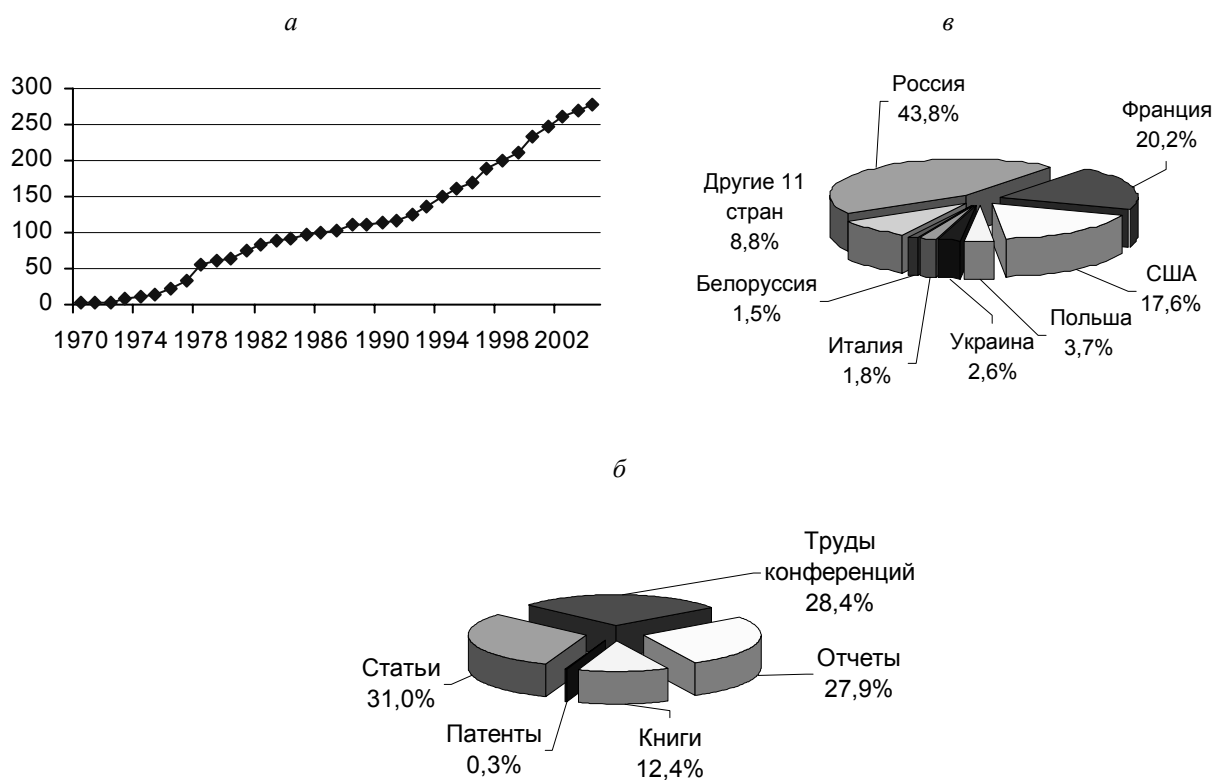
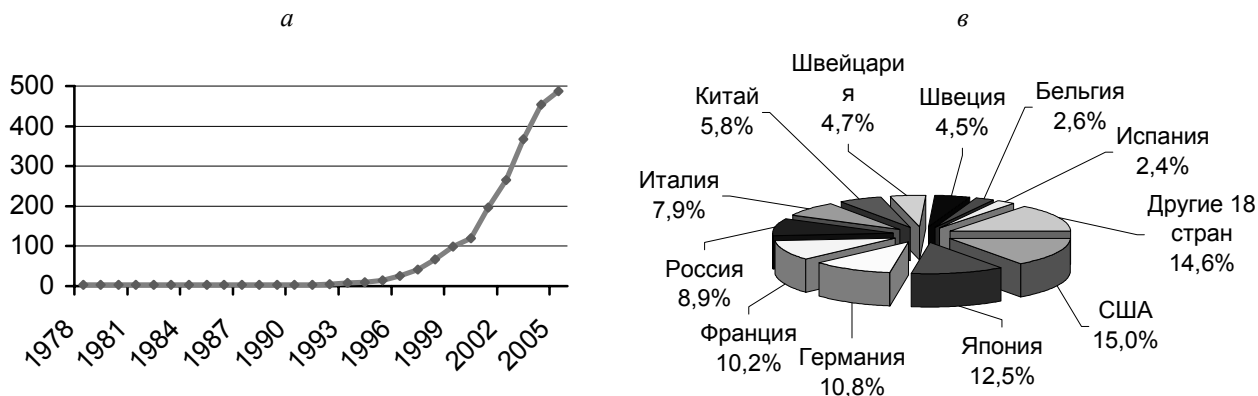


Рис. 2. Результаты анализа БД INIS по теме: электроядерные системы (electronuclear systems). Кумулятивный рост числа публикаций (а). Распределение по типам опубликованных материалов (б). Вклад специалистов разных стран в проведение работ по тематике (в).



б

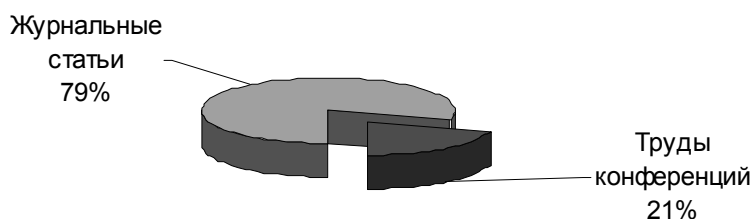
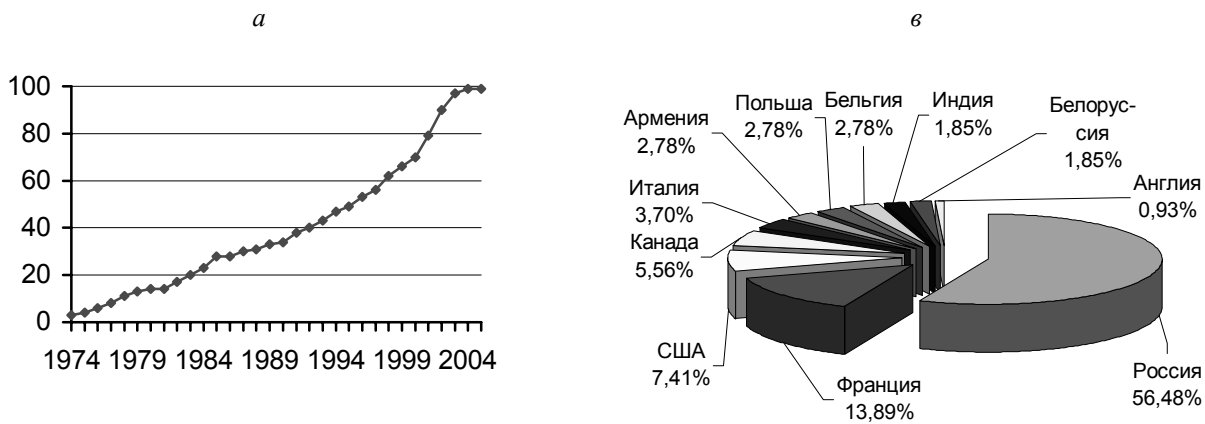


Рис. 3. Результаты анализа БД SCOPUS по теме: системы, управляемые ускорителями (accelerator driven systems). Кумулятивный рост числа публикаций (а). Распределение по типам опубликованных материалов (б). Вклад специалистов разных стран в проведение работ по тематике (в).



б

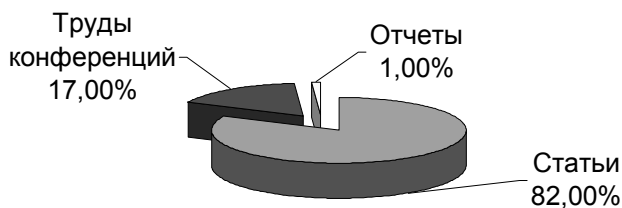


Рис. 4. Результаты анализа БД SCOPUS по теме: электроядерные системы (electronuclear systems). Кумулятивный рост числа публикаций (а). Распределение по типам опубликованных материалов (б). Вклад специалистов разных стран в проведение работ по тематике (в).

Стремительное нарастание числа публикаций по системам, управляемым ускорителями (accelerator driven systems), в БД INIS начинается в период с 1992 по 1994 г. (момент возобновления интереса к тематике после почти 40-летнего перерыва (см., например, [3, 5 - 7])), в то время как аналогичное событие в БД SCOPUS запаздывает на 2 - 3 года, что можно пояснить спецификами исследуемых БД: конференции по актуальным темам обычно часто проводятся, их материалы (см. рис. 1, б) обычно содержат большое число рефератов и публикуются значительно быстрее журнальных статей (см. рис. 3, б). Динамика роста информационных ресурсов по электроядерным системам (electronuclear systems) оказывается значительно более плавной, что объясняется спецификой самого термина “электроядерная установка”, являющегося чисто русским (см. рис. 2, в и 4, в). Рис. 1, в, 2, в, 3, в и 4, в свидетельствуют, что лидерами в проведении работ по исследуемой теме являются Россия и США (как страны, обладающие большими запасами оружейного ядерного топлива, с одной стороны, и большими объемами отработанных ядерных отходов, с другой) и Япония (как страна, не обладающая возобновляемыми энергетическими ресурсами). Далее можно отметить большой вклад специалистов Германии, Франции, Италии и Китая. Обращает на себя внимание существенная роль специалистов из Индии в международных проектах по данной тематике, что не удивительно, поскольку Индия обладает огромными запасами тория и быстро развивающейся экономикой.

4. Перспективные электроядерные системы

Анализ текстов рефератов публикаций в изучаемых БД позволяет определить основные тенденции развития ядерных технологий, использующих ускорители частиц. Основываясь на детальном изучении полученной информации, прежде всего следует отметить, что к настоящему времени особенности электроядерных установок для генерации энергии достаточно хорошо проработаны путем многочисленных математических экспериментов с различными типами систем [8]. В то же время для выбора оптимальных режимов трансмутации долгоживущих элементов требуется большая экспериментальная и теоретическая работа, поскольку в электроядерных реакторах будет нарабатываться большое количество не встречающихся в природе изотопов, особенности распадов которых пока слабо изучены [8].

Схема современной электроядерной установки может включать ускоритель протонов, мишенный комплекс (например, на основе свинец-висмутовой эвтектики), преобразующий высокоэнергетические протоны в нейтроны, и подкритический жидкосолевого реактор, топливная смесь которого (возможно, на ториевой основе) одновременно является эффективным теплоносителем, исключая тем самым необходимость в большом количестве специальных конструкционных материалов в рабочей зоне. Наиболее оптимальными и перспективными сегодня считаются каскадные двух (и, возможно, более) реакторные подкритические системы, состоящие из реактора на быстрых нейтронах (поджигаемого комплексом ускоритель-мишень и многократно усиливающего поток нейтронов), работающего в жестком нейтронном спектре, и реактора на тепловых нейтронах (поджигаемого потоком быстрых нейтронов из первого реактора), работающем в мягком нейтронном спектре. Такая организация электроядерной установки позволяет производить энергию в реакторе на тепловых нейтронах, эффективно трансмутировать весь спектр ядерных отходов критических реакторов как в жестком, так и в мягком нейтронных спектрах (в зависимости от типа долгоживущего изотопа), а также существенно снизить требования к токам протонных ускорителей [8].

Изучается также схема, в которой управляющим элементом является ускоритель электронов. Пучок высокоэнергетических частиц направляется на мишень (например, из вольфрама) и генерирует мощный поток гамма-квантов, которым облучается ядерное топливо в рабочей зоне подкритического реактора. В результате образуется стандартный набор продуктов деления и выделяется достаточно большое количество энергии. Далее за счет фотоядерных реакций такие продукты распадаются и превращаются в стабильные изотопы. Важно, что при этом нет необходимости в химической сепарации отработанного топлива [9].

5. Заключение

Таким образом, описанные электроядерные установки принципиально удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к ядерно-физическим системам крупномасштабного производства ядерной энергии в XXI веке, перечисленным во введении. Учитывая, что более половины потребляемой электроэнергии в Украине производится на ядерных электростанциях и существует тенденция к увеличению доли ядерной энергетики в энергетическом балансе страны, участие в международных проектах по электроядерным технологиям и развитие собственной электроядерной индустрии в Украине следует признать жизненно необходимым.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баращенко В.С.* Ядерно-фізическі аспекти електроядерного методу // *ЭЧАЯ*. - 1978. - Т. 9, вип. 5. - С. 871 - 921.
2. *Nifenecker H., David S., Loiseaux J.M., Meplan O.* Basics of accelerator driven subcritical reactors // *Nucl. Instr. Meth.* - 2001. - Vol. A463, No. 3. - P. 428 - 467.
3. *Бзнуни С.А., Баращенко В.С., Жамкочан В.М. и др.* Перспективні електроядерні системи // *ЭЧАЯ*. - 2003. - Т. 34, вип. 4. - С. 977 - 1032.
4. *Бомко В.А., Карнаухов И.М., Лапишин В.И.* Усилитель мощности - основа ядерной энергетики XXI века. Обзор. - Харьков: ННЦ ХФТИ, 2001. - 52 с.
5. *Bowman C.D., Arthur E.D., Lisowski P.W. et al.* Nuclear energy generation and waste transformation using an accelerator driven intense thermal neutron source // *Nucl. Instr. Meth.* - 1992. - Vol. A320, No. 1, 2. - P. 336 - 367.
6. *Хижняк Н.А.* Электроядерная энергетика - энергетика XXI века // *ВАНТ. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение*. - 2001. - № 2. - С. 3 - 11.
7. *Риволь Ж.-П.* Электроядерная установка для уничтожения ядерных отходов // *УФН*. - 2003. - Т. 173, № 7. - С. 747 - 755.
8. *Баращенко В.С.* “Электрояд” - истоки и будущее (ресурсы атомной энергетики). - Дубна, 2003. - 15 с. - (Препр. / Объед. ин-т ядерн. исследований; ОИЯИ P2-2003-144).
9. *Brown P.M.* Effective radioactive waste remediation // *Journal of New Energy*. - 2001. - Vol. 5, No. 4. - P. 22 - 34.

ANALYSIS OF INFORMATION RESOURCES ON PERSPECTIVE ELECTRONUCLEAR SYSTEMS

**V. F. Klepikov, V. Yu. Korda, A. G. Shepelev, A. S. Molev, L. P. Korda,
O. V. Nemashkalo, T. A. Ponomarenko, L. D. Yurchenko**

Being aimed at determining the basic trends of research and development of the electronuclear (accelerator driven) systems for safe nuclear power production and nuclear waste transmutation, we have analyzed the content of about 4000 records, associated with the problem under study, found in two complete International Data Bases: nuclear “International Nuclear Information System” and multisubject SCOPUS. We have observed a dramatic increase in number of various publications devoted to the problem. This study makes us able to claim the importance, availability and necessity of developing electronuclear technologies in Ukraine.

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ З ПЕРСПЕКТИВНИХ ЕЛЕКТРОЯДЕРНИХ СИСТЕМ

**В. Ф. Клепиков, В. Ю. Корда, А. Г. Шепелев, А. С. Молев,
Л. П. Корда, О. В. Немашкало, Т. А. Пономаренко, Л. Д. Юрченко**

З метою з'ясування основних тенденцій розвитку електроядерних (керованих прискорювачами) систем для безпечного виробництва ядерної енергії та трансмутації ядерних відходів проаналізовано тексти біля 4000 рефератів із тематики дослідження, що містяться у двох повних Міжнародних базах даних: ядерній “International Nuclear Information System” і політематичній SCOPUS. Динаміка інформаційних потоків із досліджуваної теми характеризується швидким зростанням кількості інформації, що публікується. Результати досліджень свідчать про актуальність, перспективність і необхідність розвитку електроядерних технологій в Україні.