

Электронное научное издание

«Международный электронный журнал. Устойчивое развитие: наука и практика»

www.yrazvitie.ru

вып. 2 (19), 2017, ст. 1

УДК 621.039

ГЛОБАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Большаков Борис Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, заведующий кафедрой устойчивого инновационного развития ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна», со-руководитель Международной научной школы устойчивого развития им. П.Г. Кузнецова

Бутцев Владимир Степанович, доктор физико-математических наук, почетный профессор ИТЭФ, академик и Вице-президент Российской инженерной академии по науке и ядерной энергетике, научный сотрудник Объединенного института ядерных исследований

Гусев Борис Владимирович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, президент Российской и Международной инженерных академий, иностранный член Черногорской академии наук и искусств

Аннотация

В работе рассматриваются динамика мировых технологических гипертрендов и реальные прорывные технологии, в том числе решается глобальная задача в качестве топлива на АЭС вместо ^{235}U использовать ^{238}U в реакции облучения быстрыми нейтронами для получения ^{239}Pu . Тогда АЭС будут работать в качестве размножителя, когда нового топлива оказывается больше, чем загруженного изначально. Этот научный прогресс способен обеспечить страну доступной дешевой электроэнергией на несколько лет вперед при дефиците ^{235}U и падении цен на нефть.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивое развитие, динамика технологических трендов, прорывные технологии, мини АЭС, топливо для АЭС, уран-235, уран-238.

THE GLOBAL TENDENCIES OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND ADVANCED TECHNOLOGIES IN NUCLEAR POWER

Bolshakov Boris Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, professor, full member of RANS, head of Sustainable Innovative Development Department of “Dubna” University, co-head of International Scientific School of Sustainable Development n.a. P.G. Kuznetsov

Buttsev Vladimir Stepanovich, Doctor of Physics and Mathematics, professor emeritus at ITEP, Academician and Vice-President of the Russian Academy of Engineering on Science and Nuclear Energy, researcher at the Joint Institute for Nuclear Research

Gusev Boris Vladimirovich, Doctor of Engineering, professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, President of the Russian and International Engineering Academy, foreign member of the Montenegrin Academy of Sciences and Arts

Abstract

Advanced technologies are considered including the solving of the global problem of using U-238 in the irradiation reaction by fast neutrons for producing Pu-239 as a fuel for APS and mini-APS. In this case, the nuclear power plants will work as a multiplier when new fuel is more than it was loaded initially. Such a scientific progress is capable of providing the country with available and cheap electric power for several years ahead at a U-235 deficiency and falling the oil prices.

KEYWORDS: global tendencies of technological development, sustainable development, atomic power station, mini-APS, fuel for APS, ^{235}U , ^{238}U .

Обобщение опыта научно-технологической мысли дало возможность великим представителям русской научной школы и, прежде всего, С.А. Подолинскому, В.И. Вернадскому, К.Э. Циолковскому, Р.О. Бартини, П.Г. Кузнецову, А.Н. Косыгину сформулировать правило – закон технологического развития, связавший развитие живого на Земле с хроноцелостным процессом неубывающих темпов роста полезной мощности и который активно проявляется в современном мире в глобальных тенденциях формирования прорывных технологий.

На обычном языке этот закон определяется так: имеет место технологическое развитие, если сохраняется устойчивая тенденция неубывающих темпов роста полезной мощности системы.

Новая технология приходит на смену старой, если она более экономично обеспечивает выполнение заданной функции. «Более экономично» – значит с меньшими потерями мощности и с меньшим риском для устойчивого инновационного развития.

Выделяют три класса технологий устойчивого инновационного развития [1, 2]:

Первый класс – это технологии замещения источников мощности более эффективными.

Второй класс – это опережающие технологии повышения эффективности полной мощности не только для ближайшего времени, но и на длительную перспективу.

Третий класс – это прорывные технологии управления, обеспечивающие индивидуальную и общественную потребность (спрос) в новых технологиях указанных классов.

Что такое прорывные технологии?

Прорывная технология – это такая технология, которая обеспечивает повышение безопасности, качества жизни, конкурентоспособности и переход страны в группу мировых лидеров по определенному продукту (услуге), удовлетворяющему следующим критериям:

- востребован каждым человеком;
- доступен каждому человеку; имеет КСТ не менее 0,62;
- никто в мире не производит или производит с КСТ меньше 0,62.

Результаты анализа, полученные на основе компьютерного моделирования устойчивости развития России, показали, что обобщенный КСТ технологий, существующих в настоящее время в России, составляет 0,30-0,32, а для достижения численных значений установочных параметров промышленности устойчивого инновационного развития обобщенный КСТ должен быть не менее 0,62. Заимствование позитивного зарубежного опыта (США, Швеция, Япония, Китай и др.) обеспечивает прирост качества жизни в стране на два-

четыре процента, а необходимо большее – из-за издержек климата, в среднем в два раза превышающих издержки любой другой страны. В Европе и отчасти в США рост обеспечивается идеологией, получившей название «фактор четыре»: качество жизни растет за счет технологий, вдвое уменьшающих затраты и дающих двойной эффект. Средний КСТ по стране на 2000 год – 0,30. Для того чтобы выйти на устойчивое инновационное развитие, требуется выше 0,62; а наиболее «продвинутые» мировые технологии дают КСТ не более 0,6.

Существует много разных технологических индикаторов, необходимых для выявления новых тенденций мирового технологического развития. Мы исходим из того, что любая технология – это, прежде всего, открытая для потоков энергии система, которая обеспечивает с определенной эффективностью процесс преобразования потоков энергии на входе в потоки энергии (вещества и информации) на выходе системы, обладающие полезными потребительскими свойствами.

Потоки энергии на входе и выходе системы находятся под контролем фундаментального закона сохранения мощности, общего закона природы справедливого для открытых по потокам энергии систем.

Выделяются четыре группы базовых индикаторов, необходимых для оценки технологического развития. В их числе:

- полная мощность или потребление мощности (N);
- полезная мощность или производство мощности (P);
- потери мощности или мощность потерь (G);
- обобщенный коэффициент совершенства технологий (KCT).

Выявление и оценка новых тенденций осуществляется с использованием расчетов базовых индикаторов, а также классификатора типов тенденций технологического развития.

Классификатор типов тенденций технологического развития строится на основе базовых индикаторов и включает в себя все практически значимые и логически возможные типы тенденций технологического развития.

Суть классификатора в том, что все возможные технологические тенденции делятся на три связанных между собой активных зоны:

- А** *Зона развития* технологической системы;
- Б** *Зона стагнации* технологической системы;
- В** *Зона деградации* технологической системы.

Выполненные расчеты базовых индикаторов мирового технологического развития и оценка сложившихся мегатрендов дали возможность произвести оценку рейтингов 60 стран

мира по базовому индикатору КСТ и интегральному индикатору качества жизни в единицах мощности. Оценки представлены в таблицах 1 и 2.

Анализ построенных рейтингов показывает связь типа тенденции технологического развития, изменения мегатрендов КСТ и качества жизни в странах мира: чем больше КСТ, тем выше качество жизни в странах мира (табл. 1).

Таблица 1. Рейтинг стран по обобщенному коэффициенту совершенства технологий (КСТ, безразмерные единицы) на 2000, 2010 и 2020 гг.

Место	Страна	Значение КСТ (2000)	Место	Страна	Значение КСТ (2010)	Место	Страна	Значение КСТ (2020)
1	Норвегия	0,38	1	Норвегия	0,38	1	Норвегия	0,37
2	Швеция	0,34	2	Швеция	0,34	2	Финляндия	0,36
3	Финляндия	0,33	3	Финляндия	0,33	3	Швеция	0,34
4	Канада	0,32	3	Новая Зеландия	0,33	3	Израиль	0,34
4	Швейцария	0,32	3	Швейцария	0,33	3	Австралия	0,34
4	Израиль	0,32	4	Израиль	0,32	4	Канада	0,32
4	Япония	0,32	4	Гонг Конг	0,32	5	ЮАР	0,31
4	Австрия	0,32	4	Австралия	0,32	5	Бельгия	0,31
5	США	0,31	4	Япония	0,32	5	Германия	0,31
5	Франция	0,31	4	Австрия	0,32	5	Франция	0,31
5	ЮАР	0,31	5	США	0,31	5	США	0,31
5	Италия	0,31	5	Франция	0,31	5	Италия	0,31
6	Испания	0,30	5	Италия	0,31	5	ЮАР	0,31
6	Германия	0,30	5	Испания	0,31	5	Египет	0,31
6	Великобритания	0,30	5	ЮАР	0,31	5	Австрия	0,31
6	Португалия	0,30	5	Португалия	0,31	5	Япония	0,31
6	Бельгия	0,30	5	Германия	0,31	6	Испания	0,30
6	Нидерланды	0,30	6	Великобритания	0,30	6	Великобритания	0,30
6	Сингапур	0,30	6	Болгария	0,30	6	Нидерланды	0,30
6	Бразилия	0,30	6	Сингапур	0,30	7	Узбекистан	0,29
7	Корея	0,29	6	Эстония	0,30	7	Польша	0,29
7	Россия	0,29	6	Азербайджан	0,30	...	...	...
...	...	...	6	Нидерланды	0,30	10	Филиппины	0,26
9	Иран	0,27	6	Венгрия	0,30	10	КНДР	0,26
9	Колумбия	0,27	8	Узбекистан	0,28	10	Иран	0,26
9	Китай	0,27	8	Иран	0,28	10	Сингапур	0,26
9	КНДР	0,27	9	КНДР	0,27	11	Туркменистан	0,25
10	Туркмени-	0,26	9	Туркмени-	0,27	11	Пакистан	0,25

Место	Страна	Значение КСТ (2000)	Место	Страна	Значение КСТ (2010)	Место	Страна	Значение КСТ (2020)
	стан			стан				
12	Вьетнам	0,24	11	Пакистан	0,25	12	Афганистан	0,11
13	Афганистан	0,12	12	Афганистан	0,12	...	...	...

Таблица 6. Рейтинг стран по качеству жизни в единицах мощности (кВт/чел.) на 2000, 2010 и 2020 гг.

Место	Страна	Качество жизни, кВт/чел. (2000)	Место	Страна	Качество жизни, кВт/чел. (2010)	Место	Страна	Качество жизни, кВт/чел. (2020)
1	Канада	3,44	1	Канада	3,63	1	Норвегия	3,91
2	Норвегия	3,39	2	Норвегия	3,43	2	Финляндия	3,68
3	США	3,12	3	Финляндия	3,28	3	Канада	3,49
4	Финляндия	2,93	4	США	3,15	4	Швеция	3,16
5	Швеция	2,86	5	Швеция	2,79	5	США	3,12
6	Австралия	2,33	6	Австралия	2,48	6	Австралия	2,71
7	Сингапур	2,16	7	Сингапур	2,05	7	Сингапур	2,41
8	Новая Зеландия	1,90	8	Нидерланды	1,93	8	Нидерланды	2,13
9	Нидерланды	1,81	9	Новая Зеландия	1,93	9	Корея	2,00
10	Франция	1,79	10	Франция	1,89	10	Новая Зеландия	1,97
11	Япония	1,77	11	Саудовская Аравия	1,85	11	Австрия	1,90
12	Германия	1,69	12	Япония	1,80	12	Саудовская Аравия	1,87
13	Саудовская Аравия	1,66	13	Корея	1,75	13	Франция	1,87
14	Швейцария	1,65	14	Австрия	1,73	14	Швейцария	1,83
15	Великобритания	1,55	15	Германия	1,72	15	Япония	1,82
16	Австрия	1,54	16	Швейцария	1,68	16	Чехия	1,79
17	Чехия	1,50	17	Чехия	1,64	17	Германия	1,77
18	Израиль	1,30	18	Великобритания	1,57	18	Эстония	1,60
19	Корея	1,27	19	Россия	1,39	19	Великобритания	1,56
20	Эстония	1,25	20	Израиль	1,38	20	Испания	1,45
21	Россия	1,24	21	Испания	1,37	21	Россия	1,43
22	Италия	1,23	22	Эстония	1,33	22	Израиль	1,34
23	Испания	1,16	23	Италия	1,32	23	Гонг Конг	1,33
24	Гонг Конг	1,13	24	Гонг Конг	1,16	24	Италия	1,30
25	Греция	1,00	25	Греция	1,15	25	Греция	1,24
26	Болгария		26	Португалия	1,02	26	Португалия	1,13
27	Литва	0,91	27			27	Болгария	1,08
28	Португалия	0,90	28	Болгария	0,95			
29	Польша	0,89	29	Венгрия	0,95	29	Венгрия	1,07
30	Венгрия	0,86	30	Туркменистан	0,94	30	Польша	1,03
			31	Польша	0,89	31	Литва	1,01
32	Венесуэла	0,83	32	Литва	0,89	32	Беларусь	0,98
33	Беларусь	0,81	33	Беларусь	0,85	33	Туркменистан	0,83

Максимальный КСТ и качество жизни имеют страны, для которых доминирующим является мегатренд, именуемый как «устойчивое инновационное развитие». В число таких стран входит Норвегия, которая на протяжении последних 10 лет занимает первое место в рейтинге по качеству жизни в единицах мощности на душу населения. Не исключено, что в ближайшие 5 лет Китай может войти в число стран с технологическим мегатрендом «устойчивое инновационное развитие», обеспечивая на протяжении последних 25 лет устойчивые темпы роста полезной мощности 6-12 % годовых.

Выделенный мегатренд «устойчивое инновационное развитие» является новой тенденцией мирового технологического развития и по этой причине требует более

внимательного рассмотрения.

Интегральные оценки дают возможность оценить вклад прорывных технологий в качество жизни: увеличение KCT на 1%, при начальных условиях $KCT = 0,3$ и $\Delta P = 7\%$, равносильно вкладу в совокупный продукт страны: 283 млрд долларов США или 283 ГВт и вкладу в качество жизни 3 500 долларов США или 3,4 кВт/чел.

Произведенный анализ и оценка новых тенденций мирового технологического развития, оценка технологических мегатрендов и прорывных технологий в области различных систем жизнеобеспечения дают основание сделать вывод:

«Магистральным направлением мирового технологического развития на ближайшие 20 лет следует принять переход на устойчивое инновационное развитие, которое рассматривается как дальнейшее развитие инновационной стратегии с последующим переходом к стратегии устойчивого инновационного развития в глобальной системе «человек – общество – природа».

Следует также отметить: создание лазерного оружия (США), создание 51-кубитного квантового компьютера (РФ), успешные эксперименты «квантового спутника» и «общества доверия» (КНР) следует рассматривать как первый шаг перехода человечества к следующему «квантовому» технологическому укладу, одним из элементов которого является «цифровая экономика».

Какими прорывными технологиями будет «питаться» устойчивое инновационное развитие?

Всеми прорывными технологиями, которые дадут максимальный вклад в эффективность использования всех видов ресурсов, в устойчивое инновационное развитие страны.

Ярким примером таких технологий являются экспериментальные работы, выполненные учеными Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в области ядерной энергетики. В настоящей статье обсуждается место ядерной энергетики в глобальном прорыве XXI века. Показано, что повышение потребления энергии в Мире возможно только при условиях дальнейшего развития ядерной энергетики.

Идея использования пучков ускорителей для ядерной энергетики обсуждается давно с 50-60 годов [3-7]. Известны проекты электроядерных бланкетных систем и установок, содержащих ускоритель заряженных частиц, предпочтительно протонов, канал для транспортировки заряженных частиц к мишени, узел мишени и размножающий бланкет, окружающий узел мишени. Бланкеты в разных решениях отличаются по материалу

замедлителя, конструкции и содержат различные виды топлива от обогащенного урана [3] до расплавленных солей, содержащих торий [4] или непосредственно радиоактивных отходов [5]. Рассматривается также множество других подкритических систем [6-17].

Подкритические системы, управляемые внешними пучками заряженных частиц Accelerator Driven System (ADS), в настоящее время рассматриваются в качестве перспективных для выработки энергии и трансмутации облученного ядерного топлива (ОЯТ). ADS или электроядерный способ получения энергии - это управление пучками электронов, нейтронов или протонов выведенных из различных ускорителей для облучения ядерных систем, или мишеней из свинца, тантала, висмута, установленных в бланкете АЭС. Полученные пучки вторичного каскада частиц (e , n , μ^- , π^-) облучают не работающие, т.е. те ТВЭЛы, в которых процесс деления ^{235}U остановился.

Формирование каскада вторичных частиц, главное вторичных нейтронов в процессе взаимодействия выведенных из ускорителей пучков нейтронов или протонов и получение энергии в реакциях деления ^{235}U , ^{232}Th , или смешанного MOX-топлива ($70\% ^{235}\text{U} + 30\% ^{239}\text{Pu}$) делает реалистичным создание ADS-систем, обусловленную рядом преимуществ: решение проблемы безопасности эксплуатации таких систем, увеличение процесса эксплуатации ТВЭЛов от 5% до 70% и выше, возможность возобновления деления ядерного топлива. [6-10]. По существу, это обстоятельство и является отправной точкой создания мини АЭС.

Значительное усиление позиции ядерной энергетики может произойти в связи с экспериментами, проведенными на 4-ом энергоблоке Белоярской АЭС Свердловской области [20]. Сенсация состоит в том, что российские атомщики предложили использовать на 4-ом блоке реактора на быстрых нейтронах БН-800 в качестве топлива не редкий ^{235}U , как на обычных АЭС, а «отвальный» изотоп ^{238}U , составляющий 99% добываемого урана и 94% отходов традиционной атомной энергетики. Научно-технический прогресс, который реализуется в случае данного эксперимента, способен обеспечить страну доступной и в меру дешевой электроэнергией на несколько сотен лет вперед. Распространенность изотопов урана в природе известна: ^{234}U ($2,44 \times 10^5$ лет) 0,005%; ^{235}U ($7,04 \times 10^8$ лет) 0,7%; ^{238}U ($4,47 \times 10^9$ лет) 99%. Ученые многих стран мира мечтают использовать ^{238}U в качестве топлива для АЭС.

Из наших экспериментов известно, если ^{238}U бомбардировать быстрыми нейтронами, он превращается в плутоний ^{239}Pu ($2,439 \times 10^4$ лет), т.е. в новое, готовое топливо для АЭС. Этот факт и был использован на 4-ом блоке БН-800 Белоярской АЭС. В этом случае реактор на быстрых нейтронах работает в качестве размножителя, когда нового топлива оказывается больше, чем загруженного первоначально. С такими реакторами добывать свежий уран уже

не требуется, обогащать его тоже не нужно. Безопасность такого реактора значительно повышается.

Таким образом другим перспективным усилением позиции ядерной энергетики с использованием реакции облучения ^{238}U нейтронами с интенсивностью 10^{13} н/сек для получения ^{239}Pu становится новая концепция строительства небольших АЭС для производства энергии и трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов подкритическими системами, управляемыми внешними источниками быстрых нейтронов [18, 19].

Такая электроядерная установка для производства энергии и трансмутации долгоживущих изотопов облученного ядерного топлива (ОЯТ) является прообразом самого безопасного ядерного реактора – мини АЭС. Это подкритическая установка с $K_{\text{эф}}=0.95-0.98$, т.е. цепная реакция деления осуществляться не может. В случае чрезвычайной ситуации все реакции в blankets установки могут быть быстро остановлены выключением ускорителя. В последние годы приходит понимание двух потрясающих вещей. Первая, на наших глазах в России происходит научно-технический прорыв, который в случае успеха, способен обеспечить страну дешевой энергией на несколько сотен лет вперед. И второе, прорыв подготовлен многолетним, кропотливым трудом физиков–ядерщиков, проводивших эксперименты на пучках протонов от 10 ГэВ до 660 МэВ и пучках нейтронов 14,5 МэВ. Главный вывод этих экспериментов: спектры вторичных нейтронов, вылетающих при облучении мишени электроядерной установки протонами с энергией 660 МэВ и нейтронами с энергией 14.5 МэВ, практически идентичны. Это хорошо вписывается в концепцию создания небольших мини АЭС на базе уже освоенных реакторов для подводных лодок.

Выполненные предприятиями и исследовательским институтом «Росатом» к 2018 году планируется создание плавучей АЭС (ПАЭС) «Академик Ломоносов» на базе освоенных судовых реакторов источников энергии нового класса. Они будут использоваться для опреснения воды, электричества бытового и промышленного типа [20]. Планируется строительство ПАЭС мощностью от 3,5 до 70 МВт для портовых городов, для добывающих газовых и нефтяных комплексов. Рассматривается проект по строительству плавучих атомных электростанций малой мощности (ПАЭС) [20].

Малые АЭС наилучшим образом приспособлены для эксплуатации в трудно доступных местах огромной России. В РФ это в первую очередь районы дальнего Востока и Крайнего севера. Здесь необходимы экономически выгодные и надежные источники снабжения электроэнергией. Малые АЭС намного дешевле других источников энергии. Они безотходны, безопасны и не несут той гигантской разрушительной опасности. Можно с уверенностью

констатировать, что будущее ядерной энергетики связано с концепцией строительства малых АЭС, которые обеспечат надлежащий уровень жизни населению [21].

Рекомендации по развитию инновационной стратегии и созданию промышленности устойчивого инновационного развития как технологической базы ускоренного социально-экономического развития страны

Инновационное развитие страны – необходимое, но не достаточное условие устойчивого инновационного развития. Инновационную компоненту нужно подкреплять прорывными технологиями.

На повестку дня выдвигаются вопросы построения промышленности устойчивого инновационного развития.

Создание основ промышленности устойчивого инновационного развития должно быть основным результатом стратегии инновационного развития и ключевой задачей на первом этапе перехода к устойчивому развитию страны. Инновационной базой этой промышленности являются прорывные технологии систем жизнеобеспечения.

Использование прорывных технологий как главного фактора выхода страны на траекторию устойчивого инновационного социально-экономического и экологического развития с опорой на собственные мощности может быть своевременно осуществлено лишь в том случае, если эта задача чрезвычайной исторической важности станет основой государственной политики страны, обеспечивающей масштабную поддержку всех механизмов для реализации прорывных технологий, обеспечивающих существенное повышение эффективности приоритетных систем жизнеобеспечения страны, включая: образование, здоровье, питание, жилье, вода энергия, транспорт.

Переход страны на устойчивый инновационный путь развития, главным элементом которого как раз и являются прорывные идеи, проекты и технологии, невозможен без формирования конкурентоспособной в глобальном масштабе национальной инновационной системы прорывных технологий для устойчивого инновационного развития страны. Необходима полноценная инфраструктура во всех сферах общественной жизни в целях повышения эффективности систем жизнеобеспечения страны на основе реализации творческого потенциала человека, прорывных идей и технологий.

Оказавшись в контексте Особого Периода глобальных изменений в мире, Россия имеет реальную возможность воплощения принципов устойчивого инновационного развития в XXI веке, которая может быть реализована безальтернативным путем – мобилизацией интеллектуальных и ресурсных мощностей страны на создание промышленности устойчивого

инновационного развития страны, основанной на практическом использовании и развитии прорывных технологий. Общая линия, вокруг которой должны концентрироваться приоритеты при ориентации развития страны – это технологическая реконструкция и структурная перестройка промышленности на основе прорывных технологий в целях перехода к устойчивому инновационному развитию в долгосрочной перспективе.

Может ли Россия решить такую задачу?

Может. Но для этого необходимы, прежде всего, профессионально компетентные кадры. Должна проводиться принципиально новая политика управления на национальном и региональном уровнях, основанная на ответственности и умении правильно применять на практике общие законы Реального мира.

Литература

1. Большаков Б.Е. Моделирование основных тенденций мирового технологического развития / Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление» том 6 №4 (9), 2010, с. 33-63.
2. Большаков Б.Е., Кузнецов О.Л. Инженерия устойчивого развития. – М.: РАЕН, 2012. – 507 с.
3. Durpel L. Van Den et al. The ADONIS-project: an accelerator driven operated sub-critical system. The Eighth International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems. ICENES'96. June 24-28, 1996, Obninsk, Russia, Institute of Physics and Power Engineering. Proceedings, vol.2, 526-532.
4. Rubbia C. CERN Concept of ADS. Feasibility and motivation for hybrid concepts for nuclear energy generation and transmutation. IAEA-TC-903.3 Proceedings of the International Atomic Energy Agency Technical Committee Meeting. Madrid, Spain, 17-19 September 1997. 1998. Ciemat pp. 26-171.
5. Takizuka T., Sasa T., Tsujimoto K. Hybrid System concepts for nuclear waste transmutation. Ibid., 345-356, 1997.
6. Shvedov O.V., Vasiliev V.V. et al. Safety System for Subcritical Blanket driven by Pulsed Accelerator. The Eighth International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems. ICENES'96. June 24-28, 1996, Obninsk, Russia, Institute of Physics and Power Engineering Proceedings, vol. 2, 534-540.
7. Gusev B. Automatic Technological lines for production of precast concrete. 2-nd Enlarged edition. Izhevsk, KIT, 2015, 72 p.
8. Gusev B. Advanced technologies in precast concrete manufacture. 2-nd Enlarged edition, Jenn-Chuan Chern. Sustainable Public Infrastructure and Carbon Reduction. Department of Izhevsk,

2015, 187 p.

9. Chern Jenn-Chuan Sustainable Public Infrastructure and Carbon Reduction. Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, 2015, 10 p.
10. Rubbia C., Rubio J.O., Buono S. et al. Conceptual design of a fast neutron operated high power energy amplifier. — IAEA-TECDOC-985, 1997, p. 187-312.
11. Бутцев В.С., Чигринов С.Е. и др. Бустерная подкритическая сборка, управляемая генератором нейтронов: Препринт. ОИЭЯИ-14. — Минск, 2004. 31 с.
12. Shvetsov V.N., et al. Construction of the subcritical combined neutron spectra driven by proton accelerator at protons energy 660 Mev for experiments on long lived fission products and minor actinides transmutation», ISTC application, JINR Preprint E1-2000-307, Dubna,2000.
13. Шелаев И.А., Балдин А.М., Малахов А.И., Лангрок Э.Ю. Ускоритель и реактор // Письма в ЭЧАЯ, №6 (103) – 2000.
14. Arkhipkin D.A., Buttsev V.S., Sissakian A.N., et al. Neutron spectra emitted from the lead target irradiated by 660 MeV protons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 505 (2003) 397.
15. Buttsev V.S., Brandt R., et al. Transmutation of radioact. waste with the help of relativistic heavy ions. Preprint JINR, E1-57-211, Dubna, 1997, Kerntechnik, Vol. 26, 1998.
16. Buttsev V.S., Brandt R., et al. Emission of relativistic heavy fragments at wide angles from the interaction of 58 Gev O-16 ions copper target, Radiation measurement, Vol. 29, 1998.
17. Buttsev V.S., Sissakian A.N., et al. Research programme for the 660 MeV Proton accelerator driven MOX-Plutonium Subcritical assembly / Topical Conference on Plutonium and Actinides “Plutonium Futures: The Science”, Santa Fe, New Mexico, USA 2000. AIP Conference Proceedings 532, Melville, New York, Preprint JINR, E1-200-64, 2000.
18. Бутцев В.С., Марцынкевич Б.А., Чигринов С.Е. и др. Особенности формирования нейтронных полей в системах «Нейтронпроизводящая мишень – Замедлитель», облучаемых частицами высоких энергий // Problems of atomic science and technology, 2005, № 6, Series: Nuclear Physics Investigations (45), p. 101-105.
19. Бутцев В.С., Косырев В.Е., Павлов А.А. Системный мониторинг гомеостаза антропогенных и природных факторов // Электронное научное издание «Устойчивое развитие: проектирование и управление», том 12, №1 (30), 2016, с. 2-12.
20. Воробьев В.М. Разработка плавучих атомных станций / Электронная библиотека ИСТОРИЯ РОСАТОМА: История малой атомной энергетики, вып. 5, 2004, с. 154-168.
21. Бутцев В.С. Наше время. — М.: Изд-во «Академика», 2016.