

Реакторный ряд КНР: настоящее и будущее



А.В. Гончарук

Госкорпорация «Росатом», Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
Del17@yandex.ru

За последние несколько лет Китайская народная республика превратилась из страны, отстающей в ряде высокотехнологичных областей, в одного из лидеров. В данной работе рассматривается технологический базис китайского сектора атомной энергетики, анализируются реакторные технологии, созданные собственными усилиями, а также появившиеся благодаря аккумулярованию мирового опыта. В статье описывается китайский путь к созданию собственного реакторного парка на нынешнем этапе и выбор Китая технологий строительства будущего атома, таких как быстрые реакторы, реакторы на расплавах солей и высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы.

During several years The Peoples Republic of China went through a transformation into one of the leaders in high-tech development sphere. This scientific paper reviews the technological basis of the Chinese nuclear industry, lists the reactor technologies created through own efforts and the reactors introduced from abroad. The article describes the path China is taking to obtain own reactor facilities on the present day and analyzes the technological choice the country has made for developing the future of peaceful atom. Among others prospects such technologies as high-temperature gas cooled reactor, fast neutron reactor and molten salts reactor are presented.

Keywords: atomic energy, reactor technologies, CNP-300, CPR-1000, AP, fast neutrons, thorium, EPR, HTGR.

После затишья на несколько лет КНР решает совершить рывок в атомной энергетике и не только компенсировать упущенное за предыдущие годы, но и войти в число лидирующих стран. Так, за прошедшие 8 лет в Китае были введены в эксплуатацию лишь 3 энергоблока, а за последующие 8 ожидается пуск более 30 (!) блоков¹. Твердым намерением страны диверсифицировать энергетический сектор не смогла помешать даже произошедшая в марте авария на АЭС Фукусима. Реакция КНР на события в Японии свелась к временной приостановке строительства на 4 энергоблоках, а также краткосрочному мораторию на одобрение и утверждение новых площадок для строительства². Ожидается, что в январе 2012 года этот запрет будет снят и атомный ренессанс в КНР возобновится.

Работы по развитию мирного атома Китай ведет давно, но в китайском случае срабатывают слова Мао Цзэдуна «Наш путь извилист, но перспективы светлы». В КНР испробовали несколько направлений освоения технологий атомной энергетике. Лучшим способом сократить технологический разрыв считается импорт зарубежных технологий при одновременном развитии собственных. В китайском случае был взят ориентир на импорт и аккумулярование технологий и опыта от всех передовых стран в атомной энергетике. Практикуя такой подход, китайцы приглашали иностранные компании построить АЭС на территории КНР, планомерно включая в договоры положения о передаче технологических ноу-хау³. Начиная с 11 пятилетки (с 2006 по 2010 гг.), была выдвинута идея об ориентации на дальнейшую автономную работу с постепенным сокращением зарубежного участия в проектах⁴. В любом случае КНР обладает технологи-

ческим потенциалом для развития атомной энергетики на принципе автономности и независимости, но в то же время не отказывается от возможности знакомства с передовыми достижениями с Запада. Наиболее оптимальным сценарием рассматривается сочетание двух вышеназванных подходов, то есть приобретение наиболее передового зарубежного реактора с максимальным внедрением китайских технологий.

Собственный технологический потенциал. Главным достижением собственной работы в реакторостроении Китай может считать реактор **CNP-300**. Это двухконтурный реактор с водным теплоносителем, по своим конструкционным решениям во многом напоминающий российский ВВЭР-440. Происхождение этого реактора уходит в военный сектор⁵. В декабре 1970 Китай спустил на воду свою первую атомную подводную лодку. Во времена смешения военных и гражданских задач развития атомной энергетики (начиная с 1978 года) реактор с водой под давлением, установленный на подлодках того времени, был взят за основу гражданского сектора АЭ. Мощность реакторов повышалась в связи с идеей ориентации на гражданские нужды. В итоге эта технология стала китайским реактором CNP-300, а затем CNP-600 и в дальнейшем предполагалось создание на этой основе собственного реактора-тысячника CNP-1000⁶. Проект этого реактора выделяется среди остальных эксплуатируемых и строящихся в КНР тем, что не несет на себе ограничений на экспорт. Китай имеет возможность предлагать и реализовывать эту технологию за рубежом. Более того уже есть и успешно выполненные проекты и проекты, находящиеся на стадии реализации, а также предложения и контракты на будущее строительство⁷. В «Средне- и долгосроч-

ном плане по развитию атомной энергетики КНР на 2005–2020 гг.» два отдельных параграфа посвящены реактору CNP. В плане заявлено, что на сегодняшний день Китай способен самостоятельно, используя собственные технологии, вести работу по данному типу реактора на 60% для мощности 600 МВт и 80% при блоках мощностью 300 МВт. При этом первоочередной целью развития атома в стране ставится освоение технологии реактора с водой под давлением мощностью 1000 МВт (CNP-1000)⁸. Продолжительное время прикладывались большие усилия по достижению поставленной цели, но в конечном счете ориентир был изменен. С появлением альтернативных направлений на пути получения «тысячника», проект CNP-1000 было решено бессрочно заморозить, несмотря на то, что это поставило крест на экспортных планах в Пакистан⁹. В настоящее время реактор CNP-300 эксплуатируется на энергоблоке Циньшань I и двух энергоблоках пакистанской АЭС «Чашма», вместе с тем подписано соглашение о строительстве еще двух. Что касается CNP-600, то с начала 2012 г. этот реактор эксплуатируется уже на четырех энергоблоках Циньшань II. Также планируется построить два энергоблока АЭС «Чанцзян» на острове Хайнань и пятый энергоблок АЭС «Чашма»¹⁰.

Китайско-французский CPR. Наибольшее распространение в Китае получил реактор-тысячник, который базируется на французских технологических достижениях (реактор M-310) и в китайском доработанном варианте называется CPR-1000. Это реактор с водой под давлением, который условно относится ко второму поколению. Для этого типа реакторов на 2010 год Китай был способен самостоятельно изготавливать лишь 30% комплектующих¹¹. Сложность состоит в том, что любой потенциальный экспортный контракт для этого типа реактора Китай обязан согласовывать с обладателем основных прав на интеллектуальную собственность, то есть с AREVA. Вместе с тем, ограничений на строительство таких энергоблоков внутри страны Франция не накладывает¹². Планы по

строительству CPR-1000 как на новых энергоблоках старых площадок, так и в новых зонах уже довольно обширны. Более того, по мере освоения приобретенных у Westinghouse технологий реактора AP-1000 рассматривается вариант создания продвинутой версии ACPR-1000, которая уже не будет подпадать под французские ограничения, и права на интеллектуальной собственности которой будет всецело принадлежать КНР. Сейчас ведется комплексная работа по внедрению китайских аналогов французских составляющих в конструкцию этого реактора. Китай рассчитывает повышать долю локализованного производства и своей «начинки» от блока к блоку довести до 90 процентов уже в ближайшем будущем (см. диаграмму 1).

При всех серьезных планах на этот тип реактора, его перспективы были основательно подпорчены после фукусимской аварии. В заявлениях китайских официальных лиц и в докладах надзорных органов прозвучал ряд предложений о пересмотре государственных подходов в области атомной энергетики. В частности, было предложено свернуть планы крупномасштабного строительства реакторов второго поколения CPR-1000 и сконцентрировать усилия на развитии технологий третьего поколения (реакторов AP-1000 и его китайских производных)¹⁴.

Будущая основа атомного сектора — реакторы AP и EPR. При желании развиваться самостоятельно Китай все же не отказывается от идеи освоения новых технологий привлеченных из заграницы. В четвертой части плана по развитию энергетики, где говорится о способах достижений обозначенных целей и о приведении в жизнь политики модернизации технологий, ключевыми словами на которых строится каждое предложение стали слова «ассимилировать» и «поглотить»¹⁵. Эти два понятия в большей степени относятся к американско-японской технологии реактора типа AP-1000 и французскому EPR. В 2005 году предлагался тендер для участия в строительстве реакторов на двух площадках Саньмэнь и Янцзян (впоследствии Янцзян была изменена на площадку Хай-

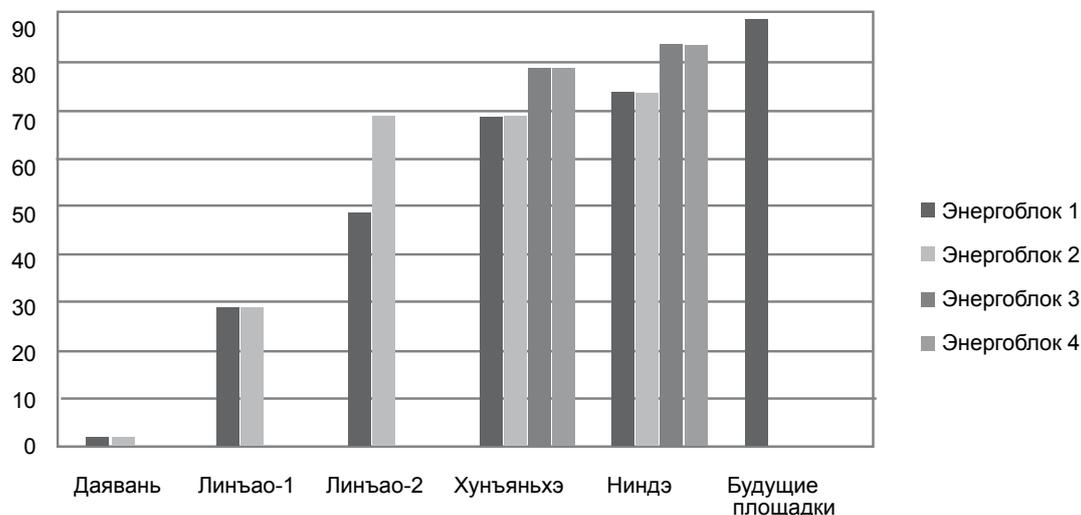


Диаграмма 1. Локализация строительства энергоблоков¹³

ян), рассматривались предложения Франции, России и США, однако после того как США признали победителем тендера, было принято решение о выделении еще одной площадки для размещения французских реакторов — площадка Тайшань¹⁶. Что касается ключевого момента с вопросом передачи технологии, прав на интеллектуальную собственность и локализацией производства, то здесь американская сторона изначально согласилась на все запрашиваемые Китаем условия. Westinghouse будет тесно сотрудничать с Китаем в вопросе улучшения технологии реактора AP-1000 и расширении его мощности до 1400 (по соглашению с американцами все технологии реакторов типа AP мощностью до 1350 МВт будут принадлежать США¹⁷), затем 1700 МВт с тремя контурами, при полной передаче Китаю прав на будущую версию этого реактора CAP-1400¹⁸. При этом конструктивные решения в реакторе позволяют считать его более безопасным и надежным. За счет упрощения конструкции был снижен и срок строительства реактора, и сейчас по всем параметрам он считается реактором третьего поколения, первым в мире, и получит его Китай. Именно с этой технологией КНР планирует уже в 14 пятилетку выход на широкий экспорт.

Делая ставку на технологию реактора AP (CAP), Китай идет на некоторый риск, поскольку реактор не имеет референции, и эксплуатационного опыта по нему совсем не накоплено (первый AP в США планируется ввести в эксплуатацию лишь через три года после китайского), и трудности могут встретиться еще до введения в эксплуатацию — в процессе строительства. Так, уже начиная с октября 2009 г, стали просачиваться сообщения о непредвиденных технических сложностях при испытании главных циркуляционных насосов для реакторов. Сначала проблема возникла в подшипниках, которые попросту разрушались во время рабочего цикла, спустя какое-то время, она была устранена, но появились новые сложности. Летом 2011 года в экспериментах был зафиксирован перегрев насоса. По условиям квалификационной программы, опытный ГЦН должен был отработать без сбоев 50 циклов. Локальный перегрев был выявлен на 14-ом из них. Программа экспериментов была вновь приостановлена, а в конструкцию внесены очередные модификации — на сей раз, установлена дополнительная изоляция. Новый цикл испытаний был запущен лишь в конце 2011 года¹⁹. Американская сторона непрерывно заявляет о приверженности изначальным срокам и о невозможности каких-либо изменений вследствие затянувшихся экспериментов. Однако, оптимизм китайцев и всех остальных в отношении безоблачных перспектив реактора уже подпорчен. Существуют серьезные сомнения, что энергопуск первых двух реакторов на площадке Саньмэн и Хайян, намеченный на 2013 г., будет произведен по графику. Сверх того, экспертный совет китайской компании SNPTC пришел к выводу, что изначально озвученная цена за киловатт установленной мощности на первых энергоблоках (1940 дол./кВт), вероятнее всего, ока-

жется заниженной. Летом 2010 г. компанией CNPEC прогноз цены уже делался на уровне в 2360 дол./кВт, а самый пессимистичный анализ выдал оценку 3000 дол./кВт²⁰. В CNPEC негласно обвиняют своих коллег из SNPTC в намеренном занижении цены блоков с американскими реакторами — якобы те хотят продемонстрировать властям Китая, что AP-1000 не только безопасны, но и дешевы, и получить преференции при выборе технологий для новых блоков. Ситуация с дальнейшими перспективами реактора AP на китайском рынке остается не до конца ясной. Говоря о французском тендерном предложении, стоит отметить, что оно в свою очередь изначально не включало положений о допуске Китая к атомным достижениям AREVA, однако же, по итогам переговоров было решено создать совместное предприятие с 55-процентной долей владения CGNPC и 45 процентов AREVA, как механизм передачи технологии²¹. В какой степени будет передана информация остается не до конца ясным. После проигранного тендера, многие аналитики поспешили поставить крест на притязаниях группы AREVA, но в корпорации не считают битву за китайский рынок проигранной, и позиция и перспективы французских теперь будут зависеть от результатов строительства и эксплуатации первых реакторов AP-1000²². Если реактор оправдает заявленные требования, то французское проникновение на китайский рынок закончится на четырех блоках площадки Тайшань. Стоит отметить, что на импорт EPR помимо Китая решилась Финляндия, и сейчас работы сталкиваются с массой непредвиденных сложностей. Параллельно финским работам идет строительство во Франции, и на обеих площадках работы уже вышли из графика (до такой степени, что EPR на китайской площадке Тайшань может стать первым в мире)²³.

Российский вклад в реакторостроение КНР.

Российское присутствие на китайском рынке связывается с реактором ВВЭР-1000. По ситуации на начало 2012 года, российской стороной были успешно реализованы проекты строительства двух энергоблоков на АЭС Тяньвань в КНР. Энергоблоки оснащены водо-водяными реакторами мощностью 1000 МВт. Помимо этого в сентябре 2011 года вступил в силу договор о строительстве и второй очереди на Тяньваньской АЭС в составе 3 и 4 энергоблоков²⁴. Как только будет снят «фукусимский запрет» на одобрение новых площадок для строительства, и Государственный комитет КНР по развитию и реформе даст зеленый тяньваньской стройке, работы перейдут в активную фазу. Необходимо отметить, что существует принципиальное различие взаимодействия КНР с Россией и с другими странами, заключающееся в том, что сохранение российских ноу-хау всегда являлось приоритетной задачей. При заключении контрактов с китайской стороной особое внимание уделялось положениям как о передаче технологического секрета, так и о запрете на копирование любых материалов, оборудования, информации, предоставленными Россией. В силу таких причин приходилось прибегать к

другим стимулам для достижения наиболее выгодных условий соглашения. Так, обе очереди на строительство АЭС «Тяньвань» подписывались как пакетные договоренности возведением в КНР другого атомного объекта. В первом случае это было строительство уранообогащительного завода в Ланьчжоу, во втором включение в договора реакторов на быстрых нейтронах БН-800²⁵. Китай проявляет заинтересованность в наиболее близком знакомстве со всеми реакторными достижениями российского атомпрома, однако китайская сторона получает доступ лишь к некоторым российским ноу-хау.

Помимо освоения энергетики на тепловых нейтронах, Китай планирует и будущий переход к реакторам на быстрых нейтронах и впоследствии к термоядерным реакторам. Такой ориентировочный план расписан до конца столетия, и переход к широкому освоению реакторов на быстрых нейтронах в атомном секторе предусмотрен лишь после 2050 года. Недавно китайцы успешно провели энергопуск экспериментального реактора на быстрых нейтронах, созданного при технологической и консультационной помощи с российской стороны²⁶. Далее планируется знакомство с демонстрационным реактором (по предложению китайской стороны проект назван как демонстрационный реактор «shifan kuaidui») на быстрых нейтронах, причем китайцы рассматривают несколько путей. Приоритетным направлением является создание собственного китайского прототипа, однако же, если собственный потенциал окажется недостаточен, то российское вовлечение в проект компенсирует нехватку технологических знаний. Уже на протяжении почти двух лет идет интенсивное обсуждение проекта межправительственного соглашения, регулирующего сооружение в Китае реактора типа БН-800²⁷. Аналогичный реактор в настоящее время строится на четвертом энергоблоке Белоярской АЭС, а реактор мощностью 600 МВт находится в эксплуатации на третьем блоке (с 1980 г.). Реактор по своему типу является трехконтурным реактором с натриевым теплоносителем, в качестве топлива используется уран с обогащением порядка 20% (21–27% в зависимости от расположения в АЗ реактора), постепенно применяется и МОКС-топливо.

Эти реакторы позволяют использовать ресурсы урана-238 для последующего превращения его в плутоний-239, пригодный для использования в качестве топлива²⁸. На сегодняшний день ресурсы урана-235 достаточны, чтобы не прибегать к использованию сложнотехнологичных быстрых реакторов, однако, в будущем повышение доли быстрых (бридерных) реакторов будет необходимо. Китай принял принципиальное решение начинать первичное знакомство с этой технологией уже на нынешнем этапе.

Знакомство с реакторными технологиями будущего. Китай создает концепцию долгосрочного строительства атомного сектора энергетики. Для этого вкладываются большие инвестиции в проекты, уже сегодня обозначенные как будущее мирного атома.

КНР является активным участником международного проекта Generation 4, в котором осуществляется сотрудничество и взаимодействие по наиболее перспективным направлениям дальнейшего становления атомной энергетики. Одним из таких направлений признана технология высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР)²⁹. Этот реактор по своим характеристикам (в первую очередь безопасности) признан реактором четвертого поколения. В нем совершенно по-новому реализована конструкция активной зоны, в которой вместо привычных трубчатых топливных элементов применяются шаровые ТВЭЛы, а теплоносителем выступает гелий³⁰. В таком реакторе исключен сценарий расплава активной зоны. Более того, за счет высокой температуры на выходе (750 °С на экспериментальном реакторе в КНР, до 1000 °С проектно), часть тепла используется на электролиз и получение водорода (впервые было обосновано и реализовано на японском реакторе High Temperature Test Reactor — HTTR), доступно для дальнейшего использования. Китайцами уже реализован проект экспериментального ВТГР НТР-10 мощностью 10 МВт. В рамках коммерциализации технологии ВТГР принято решение о сооружении демонстрационной АЭС НТР-PM с двумя реакторами тепловой мощностью 250 МВт (т) с одним турбогенератором мощностью 200 МВт(эл). Для проектирования и строительства организована в 2006 году новая компания³¹. Строительство ведется в провинции Шаньдун. Предусматривается расширение существующего топливного производства до 100 000 ТВЭЛ/год, а затем строительство нового производства 300 000 ТВЭЛ/год. С 2008 года ведется подготовка к закупке основных компонентов: корпуса реактора, парогенератора, внутриреакторных конструкций и т. д., ведется обустройство площадки. В 2013 году намечено завершение строительства демонстрационного блока, а затем строительство дополнительных блоков НТР-PM суммарной электрической мощностью 4–5 ГВт³². В дальнейшем планируется использовать 6–10 реакторов НТР-PM с одной паровой турбиной, затем использовать сверхкритическую паровую турбину, потом газовую турбину и производство водорода. Стоимость 1 кВт(эл) установленной мощности НТР-PM около 1500 дол (табл. 1).

Кроме ВТГР у Китая растет интерес к реакторам на тории. Торий сам по себе не является делящимся материалом, однако изотоп тория Th-232 при захвате медленного нейтрона посредством бета-распада превращается в Th-233, который распадается на Pa-233, а затем в U-233. Ядра U-233 способны как к спонтанному делению, так и к делению под действием нейтронов любых энергий, что делает его пригодным к использованию в качестве реакторного топлива³⁴. Первый путь — это создание в активной зоне реактора зоны воспроизводства из тория. Топливо окружается торием, и при цепной реакции все вылетающие медленные нейтроны захватываются зоной воспроизводства, где происходят вышеописанные процессы распада в

Таблица 1

Цена киловатта установленной мощности на основных мировых реакторах³³

Реактор	Мощность, МВт	Страна	Цена киловатта, \$
APR	1400	Южная Корея	1556
ABWR	1000	Япония	3009
EPR	1600	Франция	3860
EPR	1600	Финляндия	5863
AP	1000	Китай	2000–3000
AP	1000	США	3382
ВВЭР	1150	Россия	2933
CPR	1000	Китай	1748
ВТГР	200	Китай	1500

U-233. В последующих циклах этот самый уран уже служит топливом, а в зоне воспроизводства получается новый. При такой технологии расходуется только торий, запасы которого многократно превосходят запасы урана на планете³⁵. Более того, существует возможность получения коэффициента воспроизводства (отношение использованного в качестве топлива урана к полученному в зоне воспроизводства) больше 1. Другой путь вовлечения тория в атомную энергетику — это реакторы на расплаве солей. Китайская академия наук одобрила план по развитию программы освоения данного типа реакторов в краткосрочный период (в течение 10 лет)³⁶. В таких реакторах основой охлаждающей жидкости является смесь расплавленных солей, которая может работать при высоких температурах, оставаясь при этом при низком давлении. Давление в реакторе в 160 раз меньше, чем в ВВЭР-1000, вследствие этого упрощается конструкция — можно обойтись без тяжелого и дорогого корпуса, при этом исключается целая серия аварий с разрывом корпуса и трубопроводов первого контура. Ядерное топливо — жидкое и оно же является теплоносителем, что уравнивает выгорание топлива, а также позволяет заменять горючее, не останавливая реактор. Нагретая соль направляется в первый теплообменник, через который циркулирует соль второго контура, не содержащая радиоактивных веществ. Этот расплав соли направляется в следующий теплообменник, где тепло передается гелию или водяному пару. На горячем газе работают турбины, вращающие генераторы³⁷. Данная технология также рассматривается в качестве одного из возможных будущих направлений развития реакторостроения, но на сегодняшний день является неотработанной и неосвоенной³⁸. Китай решил сделать заявку на лидерство и в этом направлении, ожидается, что как только SNERDI завершит полномасштабную работу по направлению AP, институт займется именно проектом реакторов на расплаве солей.

КНР рассматривает план по развитию атомного сектора вплоть до 2050 года. Уже сейчас основные инвестиции идут не в реакторы второго поколения, а

разделяются между освоением поколения третьего и разработкой реакторов четвертого. Твердость и неуклонность проводимого КНР курса на развитие мирного атома в стране, позволяет рассматривать Китай в качестве одного из лидеров мирового ядерного ренессанса на сейчас и вероятного лидера в будущем.

Примечания

- China: Nuclear Power // Сайт World Nuclear Association — <http://www.world-nuclear.org/info/inf63.html>.
- Гончарук А.В. Атомная энергетика после Фукусимы: Китай / Журнал «Ядерный клуб» №1(8). М., 2011. С. 28.
- Налимова Н.И. Специфика атомной энергетики КНР. НИЯУ МИФИ. 2011. С. 55.
- Hedian Zhongchangqi Fazhan Guihua 2005–2020 Nian, 2004 (Средне- и долгосрочный план по развитию энергетики 2005–2020 гг.), Chinese Atomic Energy Agency, 2004. Р. 153.
- Yun Zhou. Why is China going nuclear? *Energy Policy*. 2011. №39. Р. 3758.
- Zhongguo Hedian Shebei, 2010 (Китайские атомные мощности, 2010). UBS Investment Research. Beijing, 2010. С. 7.
- Пакистан и Китай договорились о строительстве пятого блока на АЭС Чашма // ИА «Атомные связи», 26.11.2010
- Hedian Zhongchangqi Fazhan Guihua 2005–2020 Nian, 2004 (Средне- и долгосрочный план по развитию энергетики 2005–2020 гг.), Chinese Atomic Energy Agency, 2004. Р. 151.
- Zhongguo yu Bajisitan quanmian jingmaohezuo lianheguihua, 2008 (Совместный китайско-пакистанский план развития), Chinese Atomic Energy Agency, 2008. Р. 16.
- Country Nuclear Profiles // сайт МАГАТЭ: http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/cnpp2003/CNPP_Webpage/pages/countryprofiles.htm
- Hedian Zhongchangqi Fazhan Guihua 2005–2020 Nian, 2004 (Средне- и долгосрочный план по развитию энергетики 2005–2020 гг.), Chinese Atomic Energy Agency, 2004. Р. 150.
- Пастухова Н.А. Анализ латиноамериканского рынка атомных технологий. НИЯУ МИФИ. 2011. С. 45.
- China: Nuclear Power // Сайт World Nuclear Association — <http://www.world-nuclear.org/info/inf63.html>.
- Чжунго ичжунцзюбэй сандайхэдяньчжань цуаньбу лянцзыань шэнчан нэнли [Китай делает упор на реакторы третьего поколения] *Хэнэн синьвэн*. 2011. №43, апрель. С. 22.
- Hedian Zhongchangqi Fazhan Guihua 2005–2020 Nian, 2004 (Средне- и долгосрочный план по развитию энергетики 2005–2020 гг.), Chinese Atomic Energy Agency, 2004, 4 часть.
- China: Nuclear Power // Сайт World Nuclear Association — <http://www.world-nuclear.org/info/inf63.html>.
- Westinghouse примет участие в проектировании CAP-1400. ИА «Атомные связи», 09.08.2011.
- Заключение контракта на поставку топлива для AP-1000. [Чжунхэ юй сивуцяньшу AP-1000 хэжанляо чжицзао шэбэй хэ-тун.] *Хэнэн синьвэн*. 2011. №41, февраль. С. 20.
- Насос истины. Информационный портал Atominfo. 2011, 25 сентября.
- Китай и AP: деньги, врем, место. Информационный портал Atominfo. 2117, 16 ноября.
- Ушмаров И.А. Возможности и перспективы сотрудничества РФ и КНР в обеспечении ядерным топливом китайских АЭС. НИЯУ МИФИ. 2008. С. 35.
- China: AREVA strengthens its partnership with CGNPC // Сайт корпорации AREVA — <http://www.economist.com/node/16010410http://www.aveva.com/EN/news-6704/china-areva-strengthens-its-partnership-with-cgnpc.html>
- Из интервью проф. Государственного технического университета атомной энергетики Мурогова В.М. portalу Atominfo. 2007, 12 февраля.
- Протокол 15-го заседания Российско-Китайской подкомиссии по ядерным вопросам.

КОНЬЮНКТУРА. ПРОГНОЗЫ. ТЕНДЕНЦИИ

- ²⁵ Гончарук А.В. Научная сессия МИФИ-2011. Сборник научных трудов. Т. 4: Управление и экономика высоких технологий. Москва, 2011.
- ²⁶ Shiyan fanyingdui [Исследовательский реактор] *Хэнэн синьвэн*. 2011. №49, июль. С. 11.
- ²⁷ Петелин Е., Перфильев Н. Атомная панда: Китай в поисках энергобезопасности // Журнал Индекс Безопасности. №2(85), Том 14.
- ²⁸ Колдобский А.Б. Делящиеся материалы // Энциклопедия нераспространения. М: 2009.
- ²⁹ GIF Systems Generation 4 International Forum – <http://www.gen-4.org/Technology/systems/htgr.htm>
- ³⁰ Ишалов И.Н. Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор. НИЯУ МИФИ. 2008. С. 15.
- ³¹ Huaneng jitan gongsi. dianli [Компания Хуаннэн. Электричество] // Сайт Huaneng gongsi – <http://www.chng.com.cn/n220123/n233932/n236830/index.html>
- ³² Ишалов И.Н. Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор. НИЯУ МИФИ. 2008. С. 15.
- ³³ The Economics of Nuclear Power – <http://twugbcn.files.wordpress.com/2011/03/1-nuclear-power-economics.pdf>. 2010 г., апрель.
- ³⁴ Колдобский А.Б. Уран // Энциклопедия нераспространения. М: 2009.
- ³⁵ Thorium // Сайт World Nuclear Association – <http://www.world-nuclear.org/info/inf62.html>.
- ³⁶ Hedian jiaru xin de shidai [Атомная энергетика входит в новую стадию] *Хэнэн синьвэн*. 2010. №24, март. С. 41.
- ³⁷ Molten Salt Reactor // Generation 4 International Forum – <http://www.gen-4.org/Technology/systems/msr.htm>
- ³⁸ Rongyandui jianjie [Реактор на расплаве солей] // Интернет-портал Байду Веньку – <http://baike.baidu.com/view/5019285.html>
-

Nuclear reactors of PRC: current situation and future prospects overview

A.V. Goncharuk, Department of International Cooperation «Rosatom» (since Aug 2011), trainee

During several years The Peoples Republic of China went through a transformation into one of the leaders in high-tech development sphere. This scientific paper reviews the technological basis of the Chinese nuclear industry, lists the reactor technologies created through own efforts and the reactors introduced from abroad. The article describes the path China is taking to obtain own reactor facilities on the present day and analyzes the technological choice the country has made for developing the future of peaceful atom. Among others prospects such technologies as high-temperature gas cooled reactor, fast neutron reactor and molten salts reactor are presented.

Keywords: atomic energy, reactor technologies, CNP-300, CPR-1000, AP, fast neutrons, thorium, EPR, HTGR.