



МЕЖДУНАРОДНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО INTERNATIONAL ACADEMIC COOPERATION

DOI: 10.22363/2313-0660-2019-19-3-480-489

Научная статья

Создание экспериментального термоядерного реактора ИТЭР как пример международного научно-технического сотрудничества в сфере энергетики

А.Х. Дегтерев

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация

Research article

Creation of Thermonuclear Experimental Reactor ITER as an Example of International Scientific and Technical Cooperation in Energy Sector

A.Kh. Degterev

Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

В статье рассматриваются перспективы реализации крупнейшего международного научно-технического проекта («мегасайенс») по освоению управляемого термоядерного синтеза ИТЭР. В условиях истощения запасов ископаемого топлива повышается роль новых источников энергии, в том числе пока не освоенных. Ввиду чрезвычайно высоких затрат и амбициозных научных целей, стоящих перед проектом, его практическая реализация и финансирование возможны благодаря тесному международному научно-техническому сотрудничеству в сфере энергетики. Отмечается роль международной группы из 7 участников (России, ЕС, Японии, КНР, Индии, Республики Корея и США) в создании лабораторных установок термоядерного синтеза. Признанием успехов России является выбор конструкции типа «Токамак» для международного реактора ИТЭР, строящегося во Франции.

Раскрыты основные параметры международного партнерства, конкретизация которых осуществляется на регулярной основе в ходе координационных совещаний с участием представителей национальных агентств ИТЭР. Приведены параметры взаимодействия с научными учреждениями стран, которые не входят в консорциум.

Показана эволюция проекта с момента его запуска в 1985 г. как совместной советско-американской инициативы. Рассмотрены четыре варианта первоначального размещения реактора: в Испании, Франции, Канаде и Японии. Раскрыты особенности организационно-правового регулирования международного консорциума по управлению ИТЭР, в том числе учреждение Международной организации ИТЭР по термоядерной энергии для совместной реализации проекта ИТЭР в 2006 г. Обсуждается роль натурального взноса стран в международных проектах в обмене уникальными технологиями мирового уровня.

Перечислены основные цели, которые ставят перед собой страны — участницы проекта, и временные горизонты их практического достижения. Приведены параметры участия России в проекте, оценены перспективы дальнейшего сотрудничества в данной области. Особое внимание уделяется особенностям политического взаимодействия стран-участниц, а также промежуточным результатам, уже достигнутым при реализации проекта ИТЭР.

Ключевые слова: ИТЭР, мировая энергетика, международное научно-техническое сотрудничество, МАГАТЭ, мегасайенс, натуральный взнос, термоядерный реактор, термоядерные нейтроны

© Дегтерев А.Х., 2019



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Для цитирования: Дегтерев А.Х. Создание экспериментального термоядерного реактора ИТЭР как пример международного научно-технического сотрудничества в сфере энергетики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Международные отношения. 2019. Т. 19. № 3. С. 480—489. DOI: 10.22363/2313-0660-2019-19-3-480-489

Abstract. The article analyses the prospects for the implementation of the largest international scientific and technical project (“mega-science” project) ITER of controlled thermonuclear fusion. With the depletion of fossil fuel reserves, the role of new energy sources, including those that have not yet been developed, is increasing. Due to the extremely high costs and ambitious scientific goals facing the project, its practical implementation and funding are possible in close international scientific and technical cooperation in the energy sector. The role of an international group of seven participants (Russia, the EU, Japan, China, India, the Republic of Korea and the USA) in the creation of laboratory fusion facilities is noted. The choice of a Tokamak-type design for the ITER international reactor being built in France is the recognition of Russian’s decisive role. The article reveals the main parameters of international partnership, the specification of which is carried out on a regular basis at ITER coordination meetings with the participation of representatives of national ITER agencies. The parameters of interaction with scientific institutions of countries that are not members of the consortium are given.

The evolution of the project since its launch in 1985 as a joint Soviet-American initiative is shown. Four options for the initial placement of the reactor are considered: in Spain, France, Canada and Japan. The features of the organizational and legal regulation of the international consortium for the management of ITER are disclosed, including the establishment of the ITER International Organization for Thermonuclear Energy for the joint implementation of the ITER project in 2006. The role of the in-kind contribution of countries in international projects in the exchange of unique world-class technologies is discussed.

The main goals set by the countries participating in the project and the time horizons for their practical achievement are listed. The parameters of Russia’s participation in the project are given, the prospects for further cooperation in this area are evaluated. Particular attention is paid to the peculiarities of the political interaction of the participating countries, as well as to the intermediate results already achieved during the implementation of the ITER project.

Key words: ITER, world energy, international scientific and technical cooperation, IAEA, mega-science, in-kind contribution, fusion reactor, thermonuclear neutrons

For citations: Degtarev, A.Kh. (2019). Creation of Thermonuclear Experimental Reactor ITER as an Example of International Scientific and Technical Cooperation in Energy Sector. *Vestnik RUDN. International Relations*, 19 (3), 480—489. DOI: 10.22363/2313-0660-2019-19-3-480-489

Начиная с конца XIX в. душевое потребление энергии удваивалось каждые 40 лет. А если учесть, что росла и численность населения (она увеличилась в 5 раз за последние 100 лет), то масштаб глобальной проблемы обеспеченности энергией становится очевидным. Энергоресурсы большинства стран, особенно развитых, уже к концу XX в. оказались частично или полностью истощенными. До недавнего времени в качестве альтернативы традиционным энергоресурсам рассматривались атомные электростанции. Однако оценки показывают, что имеющиеся запасы урана явно недостаточны. Если все современное энергопотребление перевести на АЭС, то урана не хватит и на 100 лет. Последним трендом развития энергетики является переход на возобновляемые источники энергии (в основном это ветровые и солнечные станции), однако на практике пока удается довести их долю в энергетике в лучшем случае до 20 %. Это означает, что надо либо уменьшать в разы современное энергопотребление, либо искать новые источники энергии, к числу которых относится и искусственный термоядерный синтез.

Теория реакций термоядерного синтеза была создана еще в 1938 г., по сути одновременно с теорией цепной реакции деления урана. На сегодняшний день реакция деления урана широко используется в промышленных масштабах на многочисленных АЭС, а вот применение термоядерного синтеза так и не продвинулось дальше создания водородной бомбы и сравнительно небольших лабораторных установок. Судя по всему, термоядерные электростанции станут реальностью не раньше второй половины XXI в. [Арутюнов, Лапидус 2005; Макаров, Фортов 2004], что представляется достаточно удаленной перспективой, до которой человечеству придется пройти долгий путь. Не случайно англоязычная аббревиатура проекта создания Международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР (*International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER*) в переводе с латыни (*iter*) означает «путь».

Фактически речь идет о реализации международного проекта класса «мегасайенс» [Горлова, Ткаченко 2019; Ramamurthy 2011], примером которого, наравне с ИТЭР, является Объединен-

ный институт ядерных исследований в г. Дубна, Большой адронный коллайдер Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН), Центр по исследованию антипротонов и ионов в Европе (ФАИР) или Международная космическая станция (МКС). Ряд исследователей, характеризуя международную роль ИТЭР, говорят даже о функции регулирования межгосударственных отношений в сфере альтернативной энергетики [Белоцкий 2012]. Отдельно следует отметить еще одну международную инициативу в сфере термоядерного синтеза — российско-итальянский проект экспериментального токамака «Игнитор»¹.

При реализации проектов такого рода страны-участницы сталкиваются с рядом практических сложностей международного научно-технического сотрудничества, связанных как с привлечением международного финансирования [Edler 2012], в том числе как альтернативы финансированию национальных проектов [Cho 2012], с кросс-культурными особенностями управления и обеспечения преемственности в реализации проекта [Shore, Cross 2003; Motojima, Travis 2010], так и с сопряжением научных и технологических подходов разных стран [Goldston 2010; McKray 2010; Rutherford, Baker 1996].

Международное сотрудничество и соперничество в рамках ИТЭР

Проект ИТЭР — это пример международного сотрудничества ЕС, Индии, КНР, Республики Корея, России, США и Японии, которое длится вот уже 35 лет. Участники проекта образуют своего рода «Группу семи», причем в отличие от традиционной G7 на нее приходится 85 % мирового ВВП и более половины населения нашей планеты. С учетом стран — членов ЕС это означает, что в строительстве этого реактора сейчас принимают участие 35 стран [Claessens 2020].

Проект изначально имел политический контекст и задумывался президентами М.С. Горбачевым и Р. Рейганом как пример конструктивного сотрудничества двух сверхдержав. В заключительной части совместного заявления, подписанного

по итогам советско-американского саммита 21 ноября 1985 г. в Женеве, оба лидера отметили «потенциальную важность работы, направленной на использование управляемого термоядерного синтеза в мирных целях, и в этой связи выступили за самое широкое практическое развитие международного сотрудничества в получении этого источника энергии, который является по сути неисчерпаемым, на благо всего человечества»².

Данное предложение изначально было инициативой СССР, который планировал осуществить международный проект по созданию мощной установки на основе «Токамака» с целью отработки технологии получения термоядерной энергии с последующим переходом к промышленному термоядерному реактору. Впоследствии проект поддержал президент Франции Ф. Миттеран, после чего к нему присоединилась Япония, а потом уже и другие страны.

Однако реальные шаги в этом направлении были предприняты уже после распада СССР. В 1992 г. Россия, США, ЕС и Япония подписали первое соглашение по проекту ИТЭР. Руководителем Совета ИТЭР был избран академик Е.П. Велихов. Была учреждена эмблема проекта ИТЭР, на которой по кругу изображены флаги России, США, ЕС и Японии. Китай, Индия и Корея присоединились к проекту позже.

На начальном этапе американские исследователи активно поддерживали идею участия в проекте ИТЭР, а Министерство энергетики США ставило его на первое место среди приоритетных проектов класса «мегасайенс» [Malakoff, Cho, Service 2003]. Однако в 1999 г. США вышли из соглашения по ИТЭР, мотивируя это слишком большими затратами на реализацию проекта [A Review of the DOE Plan... 2009]. В 2001 г. проект был переработан, и его стоимость уменьшилась почти в два раза. После этого США в 2003 г. вернулись в проект ИТЭР [Seife 2002; Seife, Normile 2003].

Это было непростое время для России и ряда других стран, но, как говорил в те годы академик

¹ Черковец В.Е. Российско-итальянский проект экспериментального токамака «Игнитор» // Росатом. 9 июня 2010 г. URL: <http://www.atomic-energy.ru/presentations/35964> (дата обращения: 08.04.2019).

² Joint Soviet-United States Statement on the Summit Meeting in Geneva. November 21, 1985. Ronald Reagan, The American Presidency Project. URL: <https://www.presidency.ucsb.edu/documents/joint-soviet-united-states-statement-the-summit-meeting-geneva> (accessed: 08.04.2019).

Е.П. Велихов, ИТЭР — это ворота в термоядерную энергетику, через которые мир должен пройти [Энергетика будущего... 2005; Иванов, Лукьянцев, Клыков, Васильев 2018]. Критики проекта и сейчас характеризуют его всего двумя цифрами — *увеличение сметы в 4 раза и отставание от графика строительства на 5 лет.*

С 2001 г. начались переговоры стран-участниц о подготовке нового соглашения о совместной реализации проекта ИТЭР, которые включали в себя несколько раундов [Коржавин 2003]. Изначально рассматривались четыре варианта для размещения реактора: Ванделлос (Испания), Кадараш (Франция), Кларингтон (Канада) и Роккасё (Япония) [Normile, Kondro 2001], однако впоследствии наибольшая конкуренция развернулась между Францией и Японией [Clergy, Bosch 2003; Clergy, Normile 2004, 2005].

В 2005 г. стороны, наконец, определились с местом, где будет построен реактор. В ноябре 2006 г. при участии МАГАТЭ было подписано новое соглашение между 7 странами-участницами о строительстве реактора во Франции при параллельном создании Центра управления проектом в Японии [Подписание международного соглашения... 2007]. Данное соглашение предусматривало учреждение Международной организации ИТЭР по термоядерной энергии для совместной реализации проекта ИТЭР³. В настоящее время строительство реактора ведется во Франции, в центре ядерных исследований Кадараш недалеко от Марселя. С 2015 г. генеральным директором организации является французский физик Б. Биго⁴.

Страны-участницы на регулярной основе осуществляют мониторинг процесса создания реактора и проводят координационные совещания ИТЭР с участием представителей национальных агентств ИТЭР [Координационное совещание... 2008].

³ Agreement on the Establishment of the ITER International Fusion Energy Organization for the Joint Implementation of the ITER Project. 21 November 2006. URL: https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/WebText_2014/Attachments/245/ITERAgreement.pdf (accessed: 08.04.2019).

⁴ Бернар Биго: у организации ITER свои правила // AtomInfo.Ru. 01.06.2018. URL: <http://www.atominfo.ru/newss/z0467.htm> (дата обращения: 08.04.2019).

Следует отметить, что некоторые страны, не вошедшие в Соглашение по ИТЭР, также принимают участие в проекте на уровне отдельных организаций. Так, в 2017 г. генеральный директор ИТЭР Б. Биго подписал с Национальным ядерным центром Казахстана договор о техническом сотрудничестве, целью которого является испытание конструкционных материалов для реактора на казахском «Токамаке». Аналогичные документы подписаны с Австрией, Канадой и Таиландом, всего более 60 соглашений о кооперации с международными организациями (МАГАТЭ, ЦЕРН), национальными лабораториями и университетами.

Отдельное Соглашение о партнерстве ИТЭР подписал в 2008 г. с Княжеством Монако. Согласно документу, каждые два года (в 2008, 2010, 2012, 2014 и 2016 гг.) финансировались исследования 5 ученых (пост-доксов), отобранных на конкурсной основе. Также было профинансировано проведение в 2010, 2013 и 2016 гг. международной конференции в Монако «Международные дни термоядерной энергии» (Monaco ITER International Fusion Energy Days, MIIFED). В январе 2018 г. соглашение с Монако было продлено на 10 лет⁵.

Параметры международного партнерства

По аналогии с клубом ядерных держав, получивших в свое время контроль над атомным оружием, в рамках проекта ИТЭР произошло формирование довольно узкого круга стран, претендующих на доступ к технологиям термоядерного синтеза. Расходы на реализацию проекта распределены между странами-участницами следующим образом: около 45% берет на себя ЕС, остальные шесть стран (Россия, США, Китай, Япония, Индия, Корея) — равные доли примерно по 9%.

Проект создания международного термоядерного экспериментального реактора имеет давнюю историю. По своей конструкции он относится к реакторам типа «Токамак» (тороидальная камера с магнитными катушками). Эта установка по удержанию плазмы была разработана советскими физиками А. Сахаровым и И. Таммом еще

⁵ International Cooperation // ITER. URL: <https://www.iter.org/legal/status> (accessed: 08.04.2019).

в 1950 г. Вскоре после этого были построены сотни исследовательских реакторов различных типов, в связи с чем уже в 1960-х гг. многие ученые рассчитывали на освоение управляемого термоядерного синтеза до 1980 г.

Однако проблем на пути к управляемому синтезу оказалось гораздо больше, чем ожидалось. Фактически ИТЭР — это как АЭС, но только больше, и основан он совсем на других технологиях. Достаточно сравнить температуры в активной зоне — для термоядерных реакторов это десятки и сотни миллионов градусов, а для тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) на АЭС — всего тысяча градусов. При столь высоких температурах должны использоваться другие материалы, другие системы охлаждения.

Создание энергетического термоядерного реактора на данном этапе является крупным и дорогостоящим проектом, требующим международной кооперации. Достаточно сказать, что, по мнению многих ученых, *ИТЭР будет наиболее сложным научно-техническим сооружением за всю историю человечества*. Причем промышленные термоядерные реакторы будут даже проще — там будет не так много диагностических устройств, как на экспериментальном реакторе.

Главной целью проекта еще на этапе проектирования реактора была заявлена демонстрация осуществимости использования термоядерной энергии в промышленных масштабах. К 2030 г. на экспериментальном реакторе планируется получить результаты, позволяющие перейти к промышленному освоению термоядерной энергии. До этого предстоит решить множество проблем, с которыми ранее никому не приходилось сталкиваться. Например, расстояние между зоной реакции, где температура 300 млн градусов, и зоной охлаждения, где поддерживается температура жидкого гелия, не превышает 3 метров. Одна из целей проекта как раз и состоит в выявлении проблем, которые стоят на пути освоения термоядерной энергии. Пуск первой промышленной электростанции, вырабатывающей электричество на основе термоядерного синтеза, произойдет только в 2050-х гг.

До этого планируется еще строительство реактора DEMO (от слова demonstration), главная задача которого — продемонстрировать коммерческую привлекательность такого рода электро-

станций. Этот проект будет реализован в 2035 г., и уже тогда планируется выработка 2000 МВт электроэнергии в режиме постоянной генерации [Matsuda, Tobita 2013].

Уже сегодня параметры реактора ИТЭР впечатляют. Вместе со вспомогательными помещениями он занимает площадку размером 600 × 400 м. Сам реактор представляет собой тороидальную камеру с внешним диаметром 19 м и высотой 11 м. Она будет находиться внутри огромного криостата, охлаждаемого жидким гелием. Для обеспечения сверхпроводимости обмоток катушек электромагнитов необходима температура –268 °С, и только на прокачку гелия расходуется 2,5 МВт электроэнергии. Плазма будет удерживаться внутри камеры магнитным полем с индукцией свыше 5 Тл, которое создается электромагнитами при прохождении тока величиной 70 тысяч ампер. Через плазменный шнур пойдет ток в десятки миллионов ампер.

Планируется работа реактора в импульсном режиме, продолжительность одного цикла работы составит 17 мин. При этом ставится задача достичь выхода термоядерной энергии на уровне 500 МВт, то есть превысить энергопотребление при запуске реактора в 10 раз. Даже просто обслуживание такой системы представляет собой сложную задачу, для выполнения которой требуются специально подготовленные специалисты. Подготовка кадров для создания и эксплуатации будущих термоядерных реакторов — одна из задач проекта. При этом в отдельных странах уже сейчас действуют свои национальные программы по подготовке ученых и инженеров для новой отрасли энергетики. Так, в Китае по такой программе ведется подготовка 1000 специалистов. В России пока нет специальной программы по подготовке кадров для термоядерной энергетики, и это сказывается на доле российских специалистов, находящихся непосредственно на строительной площадке. Квалифицированных специалистов с опытом работы на «Токамаках» не хватает.

Особенностью данного международного проекта является непосредственное участие разных стран в изготовлении оборудования для реактора. Так, Россия 90 % своего вклада вносит в натуральной форме, поставляя сверхпроводящие магниты, гиротроны для разогрева плазмы и другое оборудо-

дование. Значительную часть изготавливаемых в России изделий составляет диагностическое оборудование для реактора [Петров, Афанасьев, Мухин, Шевелев 2018]. И только 10 % вноса идет как чисто финансовое обеспечение. При этом изготовление конкретного оборудования доверяется только тем странам, которые являются мировыми лидерами в данном секторе. Как правило, это оборудование является наукоемким и высокотехнологичным, подчас и просто уникальным.

В отличие от России Китай, Япония и ЕС, безусловно, заинтересованы в скорейшем развитии термоядерной энергетики в связи с отсутствием месторождений углеводородов на их территории. После осуществления проектов ИТЭР и DEMO они готовы приступить к строительству коммерческих термоядерных реакторов в своих странах.

Несмотря на то, что в ходе реализации проекта отдельные блоки реактора проекта DEMO планируется испытывать в реакторе ИТЭР, ряд стран-участниц могут отказаться от дальнейшего участия в проекте. Для них основная цель — это именно получение мощного источника нейтронов, пусть даже и в импульсном режиме. Он нужен многим другим странам, у которых нет значительных запасов углеводородов. Это Китай, ЕС, Япония, многие страны Африки и Южной Америки.

Россия в проекте ИТЭР

В России работы по проекту ИТЭР велись в рамках трехлетних федеральных целевых программ (ФЦП), принимаемых правительством РФ. Так, в 1996—1998 гг. действовала федеральная целевая научно-техническая программа «Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР и научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в его поддержку»⁶. К середине 1998 г. в рамках этой и других программ на действовавших в то время установках

типа «Токамак» были получены важные результаты, позволившие вдвое уменьшить первоначальную стоимость сооружения ИТЭР. Аналогичная федеральная программа действовала и в 1999—2001 гг.⁷

В 2001 г. проектная документация была уже готова, и на период 2002—2005 гг. была принята ФЦП «Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР» с объемом финансирования 860 млн руб. В ней в качестве целевого показателя реализации мероприятий программы названо количество российских организаций, участвующих в проведении работ в рамках проекта ИТЭР. В соответствующем постановлении правительства РФ от 21.08.2001 г. отмечалось, что страны решили объединить свои усилия для совместной разработки проекта ИТЭР, «осознавая глобальное значение и сложность проблемы»⁸. Там же обращалось внимание на тот факт, что основой проекта реактора ИТЭР явились термоядерные установки «Токамак», разработанные в России.

В 2009 г. Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» было создано частное учреждение «Проектный центр ИТЭР»⁹. С 2011 г. именно оно отвечает за обеспечение вноса России в натуральной форме. При этом научное и методическое сопровождение соответствующих работ по реализации проекта возложено на Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». Если в предыдущих постановлениях правительства говорилось только о раз-

⁷ Постановление Правительства РФ от 01.12.1998 № 1417 «Об утверждении федеральной целевой научно-технической программы «Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР и научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в его поддержку» на 1999—2001 годы» // Собрание законодательства Российской Федерации. 1998. № 50. Ст. 6154.

⁸ Постановление Правительства РФ от 21.08.2001 № 604 «Об утверждении федеральной целевой научно-технической программы «Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР и научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в его поддержку» на 2002—2005 годы» // Собрание законодательства Российской Федерации. 1996. № 40. Ст. 3563.

⁹ Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» «Проектный центр ИТЭР» (российское Агентство ИТЭР). URL: <https://www.itertf.ru/> (дата обращения: 08.04.2019).

⁶ Постановление Правительства РФ от 19.06.1996 № 1119 «Об утверждении федеральной целевой научно-технической программы «Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР и научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в его поддержку» на 1996—1998 годы» // Собрание законодательства Российской Федерации. 1996. № 40. Ст. 4655.

работке проекта ИТЭР, то в распоряжении от 2011 г. речь идет уже о совместной реализации проекта¹⁰.

Для российских предприятий, институтов и конструкторских бюро участие в таких работах выгодно уже потому, что в их ходе осваиваются новейшие технологии, становятся доступными достижения других стран. Ведь по условиям соглашения, внося 9 % от стоимости проекта, Россия получит лицензии на все используемые в нем технологии. А непосредственное общение участников проекта на строительной площадке позволит овладеть им и всеми ноу-хау. Как говорят российские участники проекта ИТЭР, сделать свой взнос в проект и потом не построить в своей стране термоядерный реактор — это все равно как оплатить билет и потом пойти пешком.

Политические риски на стадии реализации проекта для Российской Федерации связаны с введением санкций со стороны ЕС и США в отношении приобретения или изготовления уникального оборудования, необходимого для реализации проекта.

Реализация проекта и ИТЭР-пессимизм

По состоянию на 2019 г. объем выполненных на реакторе работ, включая монтаж оборудования, составляет уже две трети от запланированного. В среднем за год строительство реактора продвигается на 10 % [Велихов, Мирнов 2009; Хроника ИТЭР 2012]. О сложности реализации проекта свидетельствует уже тот факт, что для запуска термоядерной реакции потребуется электростанция мощностью 50 МВт, поэтому рядом с реактором строится АЭС.

Сроки запуска реактора неоднократно пересматривались. Сначала речь шла о 2011 г., потом — о 2020 г. Сейчас физический пуск запланирован на декабрь 2025 г. Со временем увеличивалась и стоимость реализации проекта [Clery 2006]. Если в 2005 г. она составляла 5 млрд евро, то в 2014 г. — уже 15 млрд евро, а сейчас уже перевалила за 20 млрд евро. Для сравнения —

¹⁰ Распоряжение Правительства РФ от 26.01.2011 № 75-р «О частичном изменении распоряжения правительства РФ от 11.05.2007 № 597-р» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2011. № 5. Ст. 779.

строительство Белорусской АЭС оценивается в 7—10 млрд долл. США.

Несмотря на очевидные успехи в реализации проекта ИТЭР, нельзя не отметить, что до сих пор отношение к нему в ряде стран, включая Россию, остается достаточно скептическим [Glanz, Lawler 1998]. Даже в проекте Стратегии развития атомной энергетики России до 2030 г. и на период до 2050 г. об ИТЭР упоминается лишь в самом последнем разделе как о долгосрочной перспективе развития атомной энергетики. Более того, даже в подписанном в июне 2018 г. президентами России и КНР стратегическом пакете документов об основных направлениях сотрудничества в сфере атомной энергетики на ближайшие десятилетия термоядерный реактор не упоминается¹¹. Там речь идет о строительстве новых АЭС, о помощи в сооружении китайского реактора на быстрых нейтронах и о радиоизотопных источниках для китайской лунной программы. Хотя незадолго до этого между Министерством образования и науки РФ и Министерством науки и техники КНР был подписан протокол о перспективах сотрудничества в рамках комплекса сверхпроводящих колец NICA, который имеет отношение к технологиям, используемым в реакторе ИТЭР¹².

Такое прохладное отношение к проекту ИТЭР объясняется недостаточными пока запасами ископаемого топлива в России. Аналогичная ситуация имеет место в США, где с приходом президента Д. Трампа отношение к проекту заметно ухудшилось. Для США в ближайшие десятилетия гораздо актуальнее наладить международную торговлю своим сланцевым газом. Россия планирует пока постройку так называемого гетерогенного реактора, который позволит получать мощные потоки нейтронов, но не является энергетическим.

¹¹ Россия и Китай подписали рекордный пакет соглашений о сотрудничестве в ядерной сфере // Департамент коммуникаций Госкорпорации Росатом. 08.06.2018. URL: <https://www.rosatom.ru/journalist/news/rossiya-i-kitay-podpisali-rekordnyy-paket-soglasheniy-o-sotrudnichestve-v-yadernoy-sfere/> (дата обращения: 08.04.2019).

¹² Григорий Трубников: Совместные проекты и программы России и Китая в области научно-образовательного сотрудничества — это важная часть стратегического партнерства наших государств // Пресс-центр Министерства науки и высшего образования РФ. 02.04.2019. URL: https://minobrnauki.gov.ru/ru/press-center/card/?id_4=1229 (дата обращения: 08.04.2019).

Во всяком случае, руководитель «Проектного центра ИТЭР» в России А.В. Красильников считает, что пока России термоядерный реактор для выработки энергии не нужен [Термоядерный синтез... 2014]. По его оценкам, на ближайшие 60 лет России хватит запасов нефти и газа для производства энергии. Исходя из этого, можно прогнозировать переход к термоядерной энергетике скорее к концу XXI в.

В отличие от углеродной энергетике для термоядерной критичным будет уже не наличие запасов топлива, а доступ к технологиям, используемым в ИТЭР. Изотопы водорода, необходимые для синтеза, получают из воды и лития. А их в России хватает, тем более что расход трития за год работы реактора ИТЭР при выработке 500 МВт термоядерной энергии составляет лишь 20 кг. Это при том, что мировое производство лития бурно растет и уже сейчас составляет тысячи тонн.

Наряду с ИТ, искусственным интеллектом, биоинженерными и другими инновационными технологиями, новая термоядерная энергетика — это одна из тех прорывных научных инноваций,

развитие которой уже в ближайшем будущем будет определять весьма ограниченный круг стран, своего рода «Группа семи» (ЕС, Индия, КНР, Республика Корея, РФ, США и Япония). Несмотря на сложности международной научно-технической кооперации, а также научные проблемы, связанные с управляемым термоядерным синтезом, реализация проекта ИТЭР поступательно развивается, и важную роль в реализации данного проекта играет Российская Федерация.

Важна не только финальная цель данного проекта, связанная с промышленным освоением термоядерной энергии, практическое достижение которой возможно лишь к 2030 г., но и положительные промежуточные результаты. К последним можно отнести развитие казахстанского токамака как одной из экспериментальных площадок до запуска ИТЭР, строительство экспериментального сверхпроводящего токамака EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) в г. Хэфэй (КНР), который является частью программы по созданию ИТЭР, перспективы использования ГРИД-технологий в рамках БРИКС для передачи информации, полученной в ходе реализации проекта ИТЭР и др.

Поступила в редакцию / Received: 25.04.2019
Принята к публикации / Accepted: 15.09.2019

Библиографический список

- Арутюнов В.С., Липидус А.Л. Роль газохимии в мировой энергетике // Вестник РАН. 2005. Т. 75. № 8. С. 683—693.
- Белоцкий С.Д. ИРЕНА и ИТЭР как регуляторы межгосударственных отношений в сфере альтернативной энергетике // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Юридические науки. 2012. № 4. С. 242—252.
- Велихов Е.П., Мирнов С.В. Первый термоядерный реактор ИТЭР вышел на финишную прямую // Вестник Московского энергетического института. 2009. № 4. С. 11—15.
- Горлова Е.Н., Ткаченко Р.В. Понятие проектов класса «Мегасайенс» на примере установок ИТЭР и ФАИР // Актуальные проблемы российского права. 2019. № 5 (102). С. 205—213. DOI: <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2019.102.5.205-213>
- Иванов Д.А., Лукьянцев Д.С., Клыков А.Д., Васильев С.П. Международный термоядерный экспериментальный реактор — проект для развития будущей энергетике всего мира // Научные горизонты. 2018. № 11. С. 98—111.
- Координационное совещание руководства международной организации ИТЭР и представителей национальных агентств ИТЭР // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. 2008. № 4. С. 101.
- Коржавин В.М. Итоги 8-го раунда переговоров делегаций Российской Федерации, Евратома, Канады, Японии, Китая и США по подготовке соглашения о совместной реализации проекта ИТЭР // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. 2003. № 1. С. 95—98.
- Макаров А.А., Фортвов Е.Е. Тенденция развития мировой энергетике и энергетическая стратегия России // Вестник РАН. 2004. Т. 74. № 6. С. 195—208.
- Петров Н.П., Афанасьев В.И., Мухин Е.Е., Шевелев А.Е. Физтех — международному термоядерному реактору // Природа. 2018. № 9. С. 12—21.
- Подписание международного соглашения о сооружении международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. 2007. № 1. С. 92—93.

- Термоядерный синтез — проект века. Интервью Красильникова А.В.* // В мире науки. 2014. № 2. С. 26—29.
- Хроника ИТЭР* // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. 2012. № 1. С. 72.
- Энергетика будущего. Международный проект ИТЭР* / под ред. Е.П. Велихова. М.: УТС-Центр, 2005.
- A Review of the DOE Plan for U.S. Fusion Community Participation in the ITER Program.* National Academy of Sciences. Washington: The National Academic Press, 2009.
- Cho A. Bigger Contribution to ITER Erodes Domestic Fusion Program // *Science*. 2012. Vol. 335. Iss. 6071. P. 901—902. DOI: 10.1126/science.335.6071.901
- Claessens M. ITER, The Giant Fusion Reactor: Bringing a Sun to Earth. Berlin: Springer, 2020.
- Clery D. ITER's \$12 Billion Gamble // *Science*. 2006. Vol. 314. Iss. 5797. P. 238—242. DOI: 10.1126/science.314.5797.238
- Clery D., Bosch X. E.U. Puts France in Play for Fusion Sweepstakes // *Science*. 2003. Vol. 302. Iss. 5651. P. 1640. DOI: 10.1126/science.302.5651.1640
- Clery D., Normile D. Cadarache: More than Just a Candidate Site // *Science*. 2004. Vol. 306. Iss. 5702. P. 1669. DOI: 10.1126/science.306.5702.1669a
- Clery D., Normile D. ITER Rivals Agree to Terms; Site Said to Be Cadarache // *Science*. 2005. Vol. 308. Iss. 5724. P. 934—935. DOI: 10.1126/science.308.5724.934a
- Edler J. Toward Variable Funding for International Science // *Science*. 2012. Vol. 338. Iss. 6105. P. 331—332. DOI: 10.1126/science.1221970
- Glanz J., Lawler A. Planning a Future Without ITER // *Science*. 1998. Vol. 279. Iss. 5347. P. 20—21. DOI: 10.1126/science.279.5347.20
- Goldston R. Anatomy of Fusion: the Reactor of the Future // *World Policy Journal*. 2011. Vol. 28. No. 3. P. 40—43.
- Malakoff D., Cho A., Service R. ITER Tops DOE's List of Next Big Science Projects // *Science*. 2003. Vol. 302. Iss. 5648. P. 1126—1127. DOI: 10.1126/science.302.5648.1126
- Matsuda Sh., Tobita K. Evolution of the ITER Program and Prospect for the Next-Step Fusion DEMO Reactors: Status of the Fusion Energy R&D as Ultimate Source of Energy // *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2013. Vol. 50. No. 4. P. 321—345.
- McKray W.P. 'Globalization with Hardware': ITER's Fusion of Technology, Policy, and Politics // *History and Technology*. 2010. Vol. 26. No. 4. P. 283—312. DOI: 10.1080/07341512.2010.523171
- Motojima O., Travis J. Fresh Start for Fusion Project as New Leader Shakes Up Management // *Science*. 2010. Vol. 328. Iss. 5992. P. 616—617. DOI: 10.1126/science.329.5992.616-a
- Normile D., Kondro W. Canada Bids to Host International Reactor // *Science*. 2001. Vol. 292. Iss. 5525. P. 2240. DOI: 10.1126/science.292.5525.2240
- Ramamurthy V.S. Global Partnerships in Scientific Research and International Mega-Science Projects // *Current Science*. 2011. Vol. 100. No. 12. P. 1783—1785.
- Rutherford P., Baker Ch. The ITER Project // *Science*. 1996. Vol. 272. Iss. 5259. P. 181—182. DOI: 10.1126/science.272.5259.181a
- Seife Ch. Energy Panel Asks U.S. to Rejoin ITER // *Science*. 2002. Vol. 297. Iss. 5589. P. 1977. DOI: 10.1126/science.297.5589.1977a
- Seife Ch., Normile D. United States Rejoins International Fusion-Research Project // *Science*. 2003. Vol. 299. Iss. 5608. P. 801—802. DOI: 10.1126/science.299.5608.801a
- Shore B., Cross B. Management of Large-Scale International Science Projects: Politics and National Culture // *Engineering Management Journal*. 2003. Vol. 15. No. 2. P. 25—34.

References

- A Review of the DOE Plan for U.S. Fusion Community Participation in the ITER Program.* (2009). National Academy of Sciences. Washington: The National Academic Press.
- Arutyunov, V.S. & Lapidus, A.L. (2005). The Role of Gas Chemistry in World Energy. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 75 (8), 683—693. (In Russian).
- Belotsky, S.D. (2012). IRENA and ITER as the Regulating Forces of International Relationships in the Sphere of Alternative Energy. *RUDN Journal of Law*, 4, 242—252. (In Russian).
- Cho, A. (2012). Bigger Contribution to ITER Erodes Domestic Fusion Program. *Science*, 335 (6071), 901—902. DOI: 10.1126/science.335.6071.901
- Claessens, M. (2020). *ITER, the Giant Fusion Reactor: Bringing a Sun to Earth*. Berlin: Springer.
- Clery, D. & Bosch, X. (2003). E.U. Puts France in Play for Fusion Sweepstakes. *Science*, 302 (5651), 1640. DOI: 10.1126/science.302.5651.1640
- Clery, D. & Normile, D. (2004). Cadarache: More than Just a Candidate Site. *Science*, 306 (5702), 1669. DOI: 10.1126/science.306.5702.1669a

- Clery, D. & Normile, D. (2005). ITER Rivals Agree to Terms; Site Said to Be Cadarache. *Science*, 308 (5724), 934—935. DOI: 10.1126/science.308.5724.934a
- Clery, D. (2006). ITER's \$12 Billion Gamble. *Science*, 314 (5797), 238—242. DOI: 10.1126/science.314.5797.238
- Coordination Meeting of the Leadership of the ITER International Organization and Representatives of National ITER Agencies (2008). *Issues of Atomic Science and Technology. Series: Thermonuclear Fusion*, 4, 101. (In Russian).
- Edler, J. (2012). Toward Variable Funding for International Science. *Science*, 338 (6105), 331—332. DOI: 10.1126/science.1221970
- Glanz, J. & Lawler, A. (1998). Planning a Future without ITER. *Science*, 279 (5347), 20—21. DOI: 10.1126/science.279.5347.20
- Goldston, R. (2011). Anatomy of Fusion: the Reactor of the Future. *World Policy Journal*, 28 (3), 40—43.
- Gorlova, E.N. & Tkachenko, R.V. (2019). The Concept of Projects of “Megascience” Class Projects: the Case of ITER and FAIR Installations. *Actual Problems of Russian Law*, 5, 205—213. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2019.102.5.205-213>
- ITER Chronicle (2012). *Questions of Atomic Science and Technology. Series: Thermonuclear Fusion*, 1, 72. (In Russian).
- Ivanov, D.A., Lukyantsev, D.S., Klykov, A.D. & Vasiliev, S.P. (2018). International Thermonuclear Experimental Reactor — Project for the Development of Future Power Engineering All the World. *Scientific Horizons*, 11, 98—111. (In Russian).
- Korzhev, V.M. (2003). The Results of the 8th Round of Negotiations of the Delegations of the Russian Federation, Euratom, Canada, Japan, China and the United States on the Preparation of an Agreement on the Joint Implementation of the ITER Project. *Issues of Atomic Science and Technology. Series: Thermonuclear Fusion*, 1, 95—98. (In Russian).
- Makarov, A.A. & Fortov, E.E. (2004). The Development Trend of World Energy and the Energy Strategy of Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 74 (6), 195—208. (In Russian).
- Malakoff, D., Cho, A. & Service, R. (2003). ITER Tops DOE's List of Next Big Science Projects. *Science*, 302 (5648), 1126—1127. DOI: 10.1126/science.302.5648.1126
- Matsuda, Sh. & Tobita, K. (2013). Evolution of the ITER program and prospect for the next-step fusion DEMO reactors: status of the fusion energy R&D as ultimate source of energy. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 50 (4), 321—345.
- McKray, W.P. (2010). ‘Globalization with hardware’: ITER's fusion of technology, policy, and politics. *History and Technology*, 26 (4), 283—312. DOI: 10.1080/07341512.2010.523171
- Motojima, O. & Travis, J. (2010). Fresh Start for Fusion Project as New Leader Shakes Up Management. *Science*, 328 (5992), 616—617. DOI: 10.1126/science.329.5992.616-a
- Normile, D. & Kondro, W. (2001). Canada Bids to Host International Reactor. *Science*, 292 (5525), 2240. DOI: 10.1126/science.292.5525.2240
- Petrov, N.P., Afanasyev, V.I., Mukhin, E.E. & Shevelev, A.E. (2018). Fizteh — to International Thermonuclear Reactor. *Nature*, 9, 12—21. (In Russian).
- Ramamurthy, V.S. (2011). Global Partnerships in Scientific Research and International Mega-Science Projects. *Current Science*, 100 (12), 1783—1785.
- Rutherford, P. & Baker, Ch. (1996). The ITER Project. *Science*, 272 (5259), 181—182. DOI: 10.1126/science.272.5259.181a
- Seife, Ch. & Normile, D. (2003). United States Rejoins International Fusion-Research Project. *Science*, 299 (5608), 801—802. DOI: 10.1126/science.299.5608.801a
- Seife, Ch. (2002). Energy Panel Asks U.S. to Rejoin ITER. *Science*, 297 (5589), 1977. DOI: 10.1126/science.297.5589.1977a
- Shore, B. & Cross, B. (2003). Management of Large-Scale International Science Projects: Politics and National Culture. *Engineering Management Journal*, 15 (2), 25—34.
- The Signing of an International Agreement on the Construction of an International Thermonuclear Experimental Reactor ITER. (2007). *Questions of atomic science and technology. Series: Thermonuclear Fusion*, 1, 92—93. (In Russian).
- Thermonuclear Fusion is the Design of the Century. Interview with Krasilnikov A.V. (2014). *In the World of Science*, 2, 26—29. (In Russian).
- Velikhov, E.P. & Mirnov, S.V. (2009). The First ITER Fusion Reactor Reached the Finish Line. *Herald of the Moscow Power Engineering Institute*, 4, 11—15. (In Russian).
- Velikhov, E.P. (Eds.). (2005). *Energy of the Future. International ITER Project*. Moscow: UTS-Tsentr publ. (In Russian).

Сведения об авторе: Дегтерев Андрей Харитонович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры радиоэкологии и экологической безопасности Института ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета (e-mail: degsebal@mail.ru).

About the author: Degterev Andrey Kharitonovich — PhD in Physical and Mathematical Science, Dr. of Science, Professor, Department of Radioecology and Environmental Safety, Institute of Nuclear Energy and Industry, Sevastopol State University (e-mail: degsebal@mail.ru).