

РОДИТЕЛИ И НЯНЬКИ СОВЕТСКИХ РЕАКТОРОВ

Советские, «фирменные» методы конструирования и создания ядерных реакторов сложились еще в 50-е годы 20-го века. Их основой было совместное выполнение принципиально несовместимых этапов. У нас проектирование, строительство, испытание узлов и монтаж реактора велись одновременно. Это хорошо видно на примере строительства Обнинской АЭС, первой в мире атомной электростанции. В 1951 году заложили её фундамент, стали возводить стены, формировать в них каналы для электрокабелей и вентиляционных труб. Но чертежно-конструкторские работы (выполняемые НИИХИММАШем) еще не были закончены, а к испытаниям нового оборудования только-только приступили. Как отмечал директор НИИХИММАШа А.Н. Доллежал [6]: «В ходе экспериментов выявлялись все новые и новые данные, которые нельзя было оставлять без внимания. Не часто, правда, но все же иногда приходилось переделывать уже сконструированные узлы и устройства. Но из габаритов заданных стенами, возведенными на основе первоначальных наметок, выходить было никак нельзя. И это требовало мобилизации всей изобретательности, на какую мы были способны, постоянного поиска нестандартных решений. Шли такие ограничения во вред или на пользу дела сказать трудно. Но одно не подлежит сомнению: если бы строительство велось «по правилам», то есть началось после окончательного завершения проекта, АЭС вступила бы в строй на несколько лет позже».

Из этого признания будущего Главного конструктора РБМК следует, что с самого начала в деятельности конструкторов на первом месте были политические и карьерные соображения, подталкивающие быстрее сдать очередной «объект», а не качество и надежность реакторов.

Собственно в её нынешнем виде «фирма», конструирующая атомные реакторы, стала формироваться чуть позднее. Постановление о создании Научно-исследовательского и конструкторского института энергетической техники (НИКИЭТ), предназначенного для разработки гражданских (и не только) ядерных реакторов, вышло в конце 1952 года. Директором и главным конструктором НИКИЭТа стал Н.А. Доллежал, бывший до этого директором НИИХИММАШа.

Интересно складывалась история отношений между Заказчиком (Правительство СССР) и Конструктором новых реакторов. По словам Доллежала [7] - «мы или получали в весьма общем виде задание (в свое время – нередко от самого И.В. Курчатова) на проектирование реактора для какой-то конкретной цели, или сами выступали с предложением разработать реактор, нужный, по нашему мнению, для народного хозяйства. Создавая первоначальную схему задуманного устройства, мы привлекали к работе физиков – из тех, кого знали по совместным делам. Не раз мы сотрудничали с Андреем Капитоновичем Красиным из Обнинска. Не реже - с Савелием Моисеевичем Фейнбергом. Примечательно, что по своему образованию этот талантливый физик-ядерщик был инженером».

Факт выполнения инженером-строителем физических расчетов новых реакторов, коренным образом определяющих его ядерную безопасность, подтверждается словами другого известного физика, академика Е.И. Фейнберга [8]: «У меня был двоюродный брат, очень талантливый, Савелий Моисеевич Фейнберг, из Баку. По духу он был математик, по образованию инженер-строитель. Нефтяные камни, эстакады в море, он до войны привозил эти проекты в Москву. Он этим занимался... Но однажды он сказал: "Знаешь, Женя, отведи меня к Курчатову. Пусть он меня возьмет". И я после одного <...> семинара сказал (Курчатову): "И.В., мне надо с Вами поговорить по личному вопросу". "Пойдемте". Даже не было кабинета. В коридоре была большая ниша, там стоял столик. Он: "Садитесь, давайте здесь". Я говорю: "У меня есть двоюродный брат, математик по духу, но инженер-строитель, он работал в теории оболочек, я уверен, что он будет Вам полезен. Он умнее меня". "Умнее Вас? Что ж, это характеристика. Ну, приводите его". Он пришел, Курчатов его взял, дал ему квартиру. Некоторое время я его обучал физике, мы сделали работу по диффузии нейтронов, он очень быстро освоился и стал правой рукой у Курчатова по реакторам. Для него было большой обидой, что Курчатов не сделал его академиком, что Доллежал на первом плане...»

Тем временем на Западе закончился период создания опытно-промышленных АЭС, заявленный в 1953 году как программа "мирного атома", и на базе накопленного опыта с 60-х годов США и Великобритания начали строить крупные коммерческие атомные электростанции. Тогда же Америка объявила о наличии долговременной программы развития как своей, так и западноевропейской атомной энергетики, что вызвало соответствующий всплеск активности в ЦК КПСС, Госплане и Госкомитете по науке и технике СССР. В то время у нас были пущены - первый блок Белоярской АЭС мощностью 100 мегаватт с реактором на быстрых нейтронах (апрель 1964 г.) и первый блок Ново-Воронежской АЭС мощностью 210 мегаватт, с реактором ВВЭР (декабрь 1964 г.). В закрытом городе Минсредмаша, в Томске-7, работала маломощная Сибирская АЭС, получавшая пар от промышленных реакторов.

История создания реактора РБМК

Советский Союз явно отставал от Запада. В 1972 году соотношение по числу АЭС было уже следующим – в США работало 24 блока атомных электростанций, в Великобритании 27 блоков, а в СССР –

семь [9]. Таковы были предпосылки, побудившие ЦК КПСС дать задание Правительству на срочное развитие собственной гражданской атомной энергетики и поручить Министерству среднего машиностроения разработать проект реактора способного обеспечить паром турбины энергоблока с электрической мощностью в один миллион киловатт.

Для начала были рассмотрены все существовавшие типы реакторов – советские и зарубежные. В результате признали целесообразным делать проекты на основе двух имевшихся отечественных разработок. Один проект – на базе уран-графитового промышленного реактора Сибирской АЭС, второй – по типу корпусного водо-водяного реактора Ново-Воронежской АЭС. Разработка первого проекта была поручена коллективу конструкторов НИКИЭТ. Вот как рассказывал о работе над ним (проектом РБМК) директор НИКИЭТа академик Н.А. Доллежал [10]: «Мне такой реактор представлялся перспективным, в пользу чего говорил предшествующий опыт <...> К делу мы приступили в содружестве с Савелием Моисеевичем Фейнбергом (а тем самым и с Анатолием Петровичем Александровым). Размышления привели нас к выводу, что если в таком канальном реакторе соответствующих размеров использовать для охлаждения кипящую воду под давлением 70 атмосфер, то можно достичь тепловой мощности в 3-3,5 миллиона киловатт. А это как раз и даст заданный миллион киловатт электроэнергии, которую выработают серийные турбогенераторы, питаемые насыщенным паром из реактора. Говоря языком теплотехники, термодинамический коэффициент полезного действия обещал составить примерно 30 процентов. Такой КПД для атомной установки по тем временам был вполне хорош. Наши расчеты показывали, что обойтись одним лишь природным ураном не удастся (а к этому все мы тогда стремились), но обогащать его потребуется на скромную величину – не больше чем для других энергетических реакторов.

Министерство удовлетворило представленные нами выкладки, и вскоре оттуда пришло распоряжение заняться эскизным проектом реактора <...> Проект реактора-«миллионника» под индексом Э-7, разработанный НИКИЭТом совместно с Институтом атомной энергии имени И. В. Курчатова, в 1965 году был направлен в министерство. К заседанию Ученого совета, на котором велось обсуждение проекта, мы подготовили аргументы в его защиту, ибо среди тех, кто влиял на принятие решения, у него имелись как сторонники, так и противники. Противники считали, что строиться должны исключительно водо-водяные реакторы.

Главный наш довод был такой. При сооружении канального уран-графитового реактора мы сможем использовать кооперативные связи между машиностроительными заводами, сложившиеся еще при изготовлении первых промышленных реакторов. И это позволит справиться с задачей за 5-6 лет. Американцы же, как известно, тратят на строительство больших корпусных реакторов 8-10 лет (своего опыта в таком строительстве у нас просто не было, корпусной реактор на Ново-воронежской был небольшой мощности). А все, что касалось сроков, имело тогда большую актуальность: в стране сложилась трудная обстановка с энергоснабжением <...>

Другой наш довод состоял в том, что канальный реактор не потребует ничего такого, что оказалось бы не по силам обычному, не специализированному машиностроению <...>

И, наконец, в Э-7 не имелось конструкционных, не поддающихся замене деталей, которые подвергались бы длительному воздействию нейтронов. А это гарантировало более долговечную службу по сравнению с реакторами других типов.

Все доводы НИКИЭТа члены ученого совета, а с ними и руководители министерства признали вполне основательными. Наше детище получило право на существование. Ему было присвоено новое имя – РБМК (реактор большой мощности, кипящий), под которым он и вошел в мир <...>

Началась разработка технического проекта реактора. Велась она под научным руководством академика А.П. Александрова <...> Участвовал в нашей работе и Савелий Моисеевич Фейнберг. Это был последний вклад в реакторостроение видного физика, жизнь его вскоре оборвала тяжелая болезнь.

Тем временем вышло постановление правительства о сооружении атомной электростанции в районе г. Копорья (в 100 километрах от Ленинграда) <...> Для Ленинградской АЭС всего лучше подходил РБМК реактор большой мощности <...> Именно Савелий Моисеевич предложил для ЛАЭС реактор, который был своего рода гибридом из "Ивана-Два" (Сибирская АЭС), канального реактора Белоярской АЭС и трубчатого, который был предназначен для подводных атомных подводных лодок [11].

«Первый блок электростанции, получившей наименование Ленинградской, <...> вошел в строй в 1973 году. Помимо пара для турбин с температурой 280 градусов и давлением 65 атмосфер, станция могла производить и тепло для отопления <...>

Ну а наш коллектив в ту пору не переставал совершенствовать реакторы большой мощности. Технологические улучшения привели к заметному снижению их стоимости <...>

Серийно производимые РБМК составили энергетическое ядро Ленинградской, Курской, Смоленской, Чернобыльской, Игналинской атомных электростанций, построенных в конце 70-х – начале 80-х годов <...> Реакторы оказались экономичными по стоимости вырабатываемой энергии. Достаточно простыми в управлении, разумеется, при соблюдении всех требований эксплуатационных инструкций <...> Одним словом, практика – критерий истины – говорила, что решение строить РБМК было обоснованным и правильным».

Итак, выбор первого типа реактора для гражданских атомных электростанций СССР был сделан. На базе удачного промышленного реактора конструкторским институтом Минсредмаша (НИКИЭТ) был очень быстро создан проект мощного энергетического реактора и передан в Министерство энергетики СССР

(физические расчеты выполнил Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова). Эти реакторы решили делать на неспециализированных заводах общего машиностроения и оснащать их средствами контроля, выполненными для невзрывоопасных производств. Проектирование (Генеральным проектировщиком АЭС с РБМК вначале был институт ГИК-11 Минсредмаша СССР, а потом им стал непрофильный "Гидропроект" им. С.Я. Жука), строительство и эксплуатацию АЭС поручили Министерству энергетики, не имеющему в то время соответствующего опыта и кадров. Только головной блок РБМК и достроенные потом на этой же площадке блоки Ленинградской АЭС остались в ведении Минсредмаша, но из-за режима секретности наработанный ими опыт был закрыт для персонала АЭС Минэнерго.

Действительно ли энергоблоки с реакторами РБМК были так хороши, безопасны и экономичны, как писал о них Главный конструктор Н.А. Доллежал? Здесь необходимо сделать небольшое отступление. Советский Союз строил АЭС не только на своей территории, но и в других странах. Причем сооружение станций за рубежом проходило по иным критериям, разительно отличавшимся от применяемых в СССР. Так к 1974 году в Чехословакии была построена безопасная и экономичная АЭС «А-1» с тяжеловодным реактором на естественном уране и газовым теплоносителем. Он обладал несравненно лучшими физическими характеристиками, чем РБМК. Физик Борис Иоффе, занимавшийся разработкой этого реактора, написал в 1974 году статью, в которой сравнивал характеристики «А-1» с отечественными РБМК и ВВЭР. Но статью в печать долго не принимали по причинам, которые позднее изложил сам Б. Иоффе так [12]: «По моему мнению, любой безопасный ядерный реактор <...> в первую очередь должен быть стабилен как физическая система, то есть иметь отрицательный (и желательно достаточно большой) температурный коэффициент (и паровой коэффициент, если реактор охлаждается водой и она может вскипеть). Именно таким свойством обладают тяжеловодные реакторы на естественном или слабообогатенном уране <...> К сожалению, все попытки построить АЭС подобного типа в нашей стране или хотя бы провести серьезное сравнение их с ВВЭР и РБМК до сих пор наталкивались на глухую стену <...> монополизма. В 1974 году, после пуска АЭС А-1 в ЧССР, я написал статью, в которой дал описание параметров и результатов пуска «А-1» в Чехословакии, а в конце была небольшая главка, где сравнивались тяжеловодные реакторы на естественном уране и газовым охлаждением, с ВВЭР и РБМК по расходу урана на единицу производимой электроэнергии (не по проблеме безопасности, тогда статью уж наверняка запретили бы). Сравнение оказалось не в пользу ВВЭР и РБМК, несмотря на то, что для последних я взял проектные данные, не оправдавшиеся при эксплуатации. Комитет по атомной энергии в лице начальника отдела АЭС запретил мне опубликовать статью. В официальном заключении говорилось, что статья может быть напечатана только при условии, если главка со сравнением различных реакторов будет выброшена. Все попытки преодолеть этот запрет кончались неудачей. В конце концов, мне удалось выйти на А.П. Александрова (он был тогда президентом Академии наук, директором ИАЭ и председателем Научно-технического совета при Министерстве среднего машиностроения, то есть главой атомной проблемы), который на титульном листе статьи написал: “Все, что сказано в статье, правильно, а то, что мы строим ВВЭР и РБМК, так это по совсем другим причинам”. Причины, которые имел в виду Александров, как я понимаю, состояли в том, что технологически реакторы РБМК близки к военным и для их сооружения нужна минимальная перестройка промышленности. После этой резолюции статью опубликовали целиком. До Чернобыля это была единственная в русской специальной литературе статья, где ставился под сомнение факт, что РБМК и ВВЭР - лучшие реакторы для АЭС».

Головной (самый первый) энергоблок с РБМК был введен в работу на Ленинградской АЭС в декабре 1973 года, а последним в рассматриваемом периоде был пущен 4-й блок Курской АЭС (21.12.85 года).

В таблице 1 приведены обозначения конструкторской документации по реактору применительно к каждому энергоблоку. Отличия в обозначении спецификаций указывают на то, что перед пуском каждого нового блока был осуществлен пересмотр проектной документации на основе опыта наладки, пуска и эксплуатации уже работающих энергоблоков, с последующим изменением основного проекта в части подвергшихся усовершенствованию систем. Но, как мы увидим дальше, это правило выполнялось далеко не всегда, и часто новый проект в некоторых своих частях оказывался еще хуже старого.

Таблица 1

Обозначение спецификации Или перечня чертежей реактора	АЭС, № блока	Примечание
РБМ-К.С6.01 ПЧ инв. № 4.146-8198	ЛАЭС-1	
РБМ-К1.С6.01 ПЧ инв. № 4.246-2041	ЛАЭС-2	
РБМ-К2.С6.01 ПЧ инв. № 4.297-713	КАЭС-1,2 ЧАЭС-1,2	

РБМ-К5.С6.01 ПЧ инв. № 4. 306-2517	САЭС-1	
РБМ-К7.С6.01 инв. № Е4.529-3657	ЛАЭС-3,4	
РБМ-К9.С6.01 инв. № Е4. 609-018	КАЭС-3,4 ЧАЭС-3,4 САЭС - 2	Исполнение РБМ-К9.С6.01 – для нечетных блоков. Исполнение РБМ-К9. Сб. 01-01 для четных блоков
РБМ-К11.С6 01 инв. № Е4.611-160384	САЭС-3,4 КАЭС-5,6 ЧАЭС-5,6	Исполнение РБМ-К11. Сб.01-для нечетных блоков. Исполнение РБМ-К11. Сб.01-01 для четных блоков
РБМ-К15.С6.01 инв. № Е4. 479-111183	ИгнАЭС-1,2 НКАЭС -1,2	Исполнение РБМ-К15.С6.01 для нечетных блоков. Исполнение РБМ-К15.С6.01-01 для четных блоков

Технико-экономические показатели работы АЭС с реакторами РБМК

Суммарная мощность атомных электростанций СССР к началу 1985 года составляла 25,1 ГВт. По установленной мощности станций в ядерной энергетике СССР занимал тогда третье место в мире после США (74,8 ГВт) и Франции (34,5 ГВт). К этому времени в Советском Союзе работало уже 13 АЭС с реакторами РБМК, которые имели установленную мощность 13, 5 ГВт. Производство электроэнергии на АЭС с реакторами РБМК ежегодно росло, и в 1984 году составило 89,96 млрд. кВт. За все время эксплуатации на АЭС СССР к 01.01.85 было выработано свыше 700 млрд. кВт.ч. электроэнергии, в том числе на АЭС с ВВЭР около 300 млрд. кВт.ч., а на АЭС с РБМК 411,3 млрд. кВт.ч.

В производстве электроэнергии на своих атомных электростанциях Советский Союз уступал только США и Франции [13].

Как следует из таблицы 2, энергоблоки с РБМК-1000 по достигнутым значениям КИУМ не уступали лучшим зарубежным АЭС [14,15,16], а с 1982 года даже превосходили их. Если в 1981 году среднее значение КИУМ по всем отечественным блокам составило 74, 3%, а по зарубежным - 76,7%, то в 1982 и 1983 годах оно составило: 75,4 и 77,3 % по энергоблокам с РБМК-1000 и 75,1% и 74,1% по зарубежным.

Таблица 2
Сравнение КИУМ блоков с РБМК и лучших
энергоблоков ведущих капиталистических стран.

Страна	Название АЭС	№ блока	Мощность МВт	Коэффициент использования установленной мощности, %			
				1981	1982	1983	1984
СССР	ЛАЭС	1	1000	79,5	70,6	88,3	81,9
СССР	ЛАЭС	2	1000	64,2	89,8	84	87,4
СССР	ЛАЭС	3	1000	81,8	80,0	72,1	89,5
СССР	ЛАЭС	4	1000	63,8	83,3	85,5	74,5
СССР	КАЭС	1	1000	75,9	86,2	82,6	81,7
СССР	КАЭС	2	1000	78,6	72	70,6	77,6
СССР	КАЭС	3	1000	-	-	-	68,1
СССР	ЧАЭС	1	1000	72,1	51,8	53,7	80
СССР	ЧАЭС	2	1000	78,4	72,9	80,9	63,5
СССР	ЧАЭС	3	1000	-	72,3	77,8	82,3
СССР	ЧАЭС	4	1000	-	-	-	73,5
СССР	САЭС	1	1000	-	-	59,4	84,5
Лучшие зарубежные АЭС							
Швейцария	Gosgen		970	82	80	88	-
ФРГ	Unterweser		1300	84	85	76	-
Бельгия	Tihange	1	920	84	81	77	-
ФРГ	Biblis	A	1204	69	90	78	-
ФРГ	Biblis	B	1300	75	86	61	-
Франция	Bugey	4	957	71	68	81	-

США	Coor	2	1089	69	76	73	-
Япония	Fukushima	6	1100	82	72	58	-
Франция	Fessenheim	2	930	77	77	56	-
США	Oconee	3	911	74	36	93	-

В 1984 году среднее значение КИУМ энергоблоков с РБМК-1000, освоивших номинальную мощность, составило 82,3 % [13].

Значения КИУМ могли быть еще больше, если бы не случались аварийные остановки энергоблоков по различным причинам.

В качестве причин недовыработки, как правило, были:

- отказы в работе реакторного оборудования;
- отказы в работе турбинного оборудования (машзал);
- нарушения режимов работы технологических схем;
- отказы оборудования по вине заводов-изготовителей;
- диспетчерские разгрузки, с помощью которых вручную оптимизировалась работа энергосистем.

Ежегодная доля недовыработки электроэнергии по перечисленным выше причинам (в среднем на энергоблок) составляла 6,8 % от плана выработки.

Максимальная недовыработка электроэнергии была вызвана:

- нарушениями режимов работы технологических схем (ухудшение вакуума в конденсаторах турбин в летнее время, отказы электрических устройств и автоматики, ошибочные действия персонала и т. д.), что составляло в среднем на блок 31,2 % от суммы потерь;
- отказами оборудования машзала (ремонт модулей сепараторов-пароперегревателей, дефекты в системе возбуждения турбогенераторов и т. д.), что составляло в среднем на блок 25,6 % от суммы потерь.

Недовыработка электроэнергии, вызванная отказами реакторного оборудования, составляла 16,5 % от суммы потерь. В целом по этой причине недовыработка электроэнергии была ~ в 2 раза меньше недовыработки за счет нарушений режимов работы технологических схем и ~ в 1,5 раза меньше недовыработки, вызванной отказами оборудования машинного зала. Следует отметить, что значительный вклад в долю недовыработки электроэнергии по причине отказов реакторного оборудования вносило время расхолаживания и разогрева реактора, в то время как большая часть другого оборудования могла быть отремонтирована после его отключения на работающем энергоблоке, или при соответствующем снижении мощности энергоблока.