

Из истории техники
From the History of Technology

DOI: 10.31857/S020596060004937-2

**ОТ РЕЖИМНОГО ОБЪЕКТА К МУЗЕЮ:
К ИСТОРИИ ОБНИНСКОЙ АЭС**

КУЗЬМИН Юрий Викторович — независимый исследователь;
E-mail: ykuzmin@rambler.ru

© Ю. В. Кузьмин

В статье рассматривается история атомной электростанции, начавшей свою работу в 1954 г. в Обнинске, и среди прочего даются новые трактовки ряда сюжетов из истории этого выдающегося памятника науки и техники. Так, рассмотрен вопрос о приоритете Обнинской АЭС как электростанции, первой начавшей поставлять электроэнергию в сети общего пользования; уточнена история уникальной турбины, использовавшейся на АЭС, которая была построена немецкой фирмой МАН (MAN), судя по всему, в 1912 г.; впервые отмечено влияние технических характеристик этой турбины на выбор параметров второго контура электростанции; показана роль экспериментов, проведенных на АЭС, для развития подводного флота и космических технологий. Также проанализированы возможные причины небывалой открытости СССР в области «мирного атома», выразившейся, например, в том, что уже через два года после пуска АЭС на конференции в Женеве, посвященной атомной энергетике, советские ученые сделали свыше 100 докладов, в которых приводились существенные технические подробности, касающиеся Обнинской станции. Статья написана по материалам открытых источников.

Ключевые слова: история атомной техники, Обнинская АЭС, турбина МАН, Женевская конференция, подводный флот.

Статья поступила в редакцию 3 апреля 2018 г.

FROM A HIGH-SECURITY FACILITY TO A MUSEUM: TOWARDS THE HISTORY OF THE OBNINSK NUCLEAR POWER PLANT

KUZMIN Yuri Viktorovich – Independent researcher; E-mail: ykuzmin@rambler.ru

© Yu. V. Kuzmin

Abstract: The paper reviews the history of a nuclear power plant that began to operate in Obninsk in 1954 and, inter alia, offers new interpretations of some stories from the history of this outstanding monument of science and technology. Thus, the issue of the Obninsk Nuclear Power Plant's priority as the first power plant to supply electricity to public electricity grids is reviewed. The history of a unique turbine built by a German firm MAN (probably in 1912) used at the Obninsk Nuclear Power Plant is elaborated; it is emphasized for the first time that the choice of parameters for the second circuit of this power plant had been largely determined by technical characteristics of this turbine. The paper points out to the importance of experiments carried out at the Obninsk Nuclear Power Plant for the development of submarine fleet and space technologies. In addition to that, possible reasons behind the USSR's unprecedented openness in regard to the "peaceful atom" are discussed. An example of such openness is the fact that, only two years after the Obninsk Nuclear Power Plant was launched, more than 100 presentations were delivered by Soviet scientists at the conference on nuclear power in Geneva. These presentations included significant technical details concerning the Obninsk Power Plant. This paper is based on the non-classified sources.

Keywords: history of nuclear technology, Obninsk Nuclear Power Plant, MAN turbine, Geneva conference, submarine fleet.

For citation: Kuzmin, Yu. V. (2019) Ot rezhimnogo ob"ekta k muzeiu: k istorii Obninskoi AES [From a High-Security Facility to a Museum: Towards the History of the Obninsk Nuclear Power Plant], *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki*, vol. 40, no. 2, pp. 254–291, DOI: 10.31857/S020596060004937-2.

Начало

28 сентября 1942 г. появилось распоряжение Государственного Комитета Обороны № 2352сс (сс означает «совершенно секретно») «Об организации работ по урану»¹. Целью проекта было создание атомного оружия. Эту дату можно считать датой начала советского атомного проекта. Распоряжением было предусмотрено «организовать при Академии наук специальную лабораторию атомного ядра»². 12 апреля 1943 г.

¹ Распоряжение ГКО № 2352сс «Об организации работ по урану». 28 сентября 1942 года // Игорь Васильевич Курчатов в воспоминаниях и документах. 2-е изд. / Отв. сост. Ю. Н. Смирнов. М.: ИздАТ, 2004. С. 538–539.

² Там же.

она была создана: сначала как Лаборатория № 2, позднее — Лаборатория измерительных приборов АН СССР, а теперь — Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»³. 20 августа 1945 г., через две недели после уничтожения атомной бомбой японского города Хиросимы, Государственный Комитет Обороны для руководства атомным проектом создает Специальный комитет под председательством Л. П. Берии и Первое главное управление (ПГУ) при Совете народных комиссаров (позднее, Совете Министров) СССР под начальством Б. Л. Ванникова. Эти организации еще до окончания Второй мировой войны получили две задачи: «...строительство атомно-энергетических установок и разработка и производство атомной бомбы»⁴. «Мирная» (точнее, как показало создание атомного подводного флота, «двойного применения») энергетическая задача была поставлена в решении ГКО на первое место.

Решение о создании АЭС

Впервые управляемая цепная реакция деления ядер урана была получена в США в 1942 г. В 1946 г. удалось повторить этот результат в Москве, на установке Ф-1 в Лаборатории № 2. 8 июня 1948 г. на комбинате № 817 (позднее он стал называться «Маяк») в Челябинске-40 (ныне г. Озерск Челябинской области) заработал первый промышленный уран-графитовый реактор, предназначенный для выработки оружейного плутония.

Менее чем через два года, 11 февраля 1950 г., Н. А. Доллежалъ, руководитель НИИхиммаша, сделал доклад на совещании у начальника ПГУ Ванникова об использовании реакторов для получения электроэнергии в промышленных масштабах. Было решено подготовить проект постановления Совета Министров СССР о сооружении при Лаборатории «В» экспериментальной энергоустановки «АМ» электрической мощностью 5000 кВт.

Окончательно работы по проектированию атомной электростанции были узаконены постановлением СМ СССР № 2030-788сс/оп от 16 мая 1950 г. (курсивом выделены слова, вписанные от руки, — слишком секретные, чтобы доверять их сотрудницам машбюро, орфография сохранена):

³ 11 февраля 1943 г. распоряжением ГКО № 2872сс «О мерах по успешному развитию работы по урану» было приказано создать Лабораторию № 2 АН СССР. 12 апреля 1943 г. вице-президент АН СССР А. А. Байков подписал распоряжение № 121 о создании этой лаборатории. Директор же лаборатории, И. В. Курчатов, был назначен распоряжением АН СССР раньше, 10 марта 1943 г., — это нормальная практика, поскольку директор ведет работы и на подготовительном этапе создания организации, в том числе по подбору кадров. Последняя дата часто встречается в многочисленных публикациях как дата создания Института атомной энергии, хотя правильнее все-таки говорить о 12 апреля.

⁴ Постановление ГКО № 9887сс/оп от 20 августа 1945 г. «О специальном комитете по использованию атомной энергии при ГКО» // Российский государственный архив социально-политической истории. Ф. 64. Оп. 1. Д. 458. Л. 27–30.

В целях изыскания способов использования *атомной энергии* для мирных целей, Совет Министров Союза СССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Принять предложение Первого главного управления при Совете Министров СССР об организации научно-исследовательских, проектных и экспериментальных работ по изысканию способов использования *атомной энергии* для мирных целей в направлении разработки тепловых энергетических установок на *увлажненном олове-115*.

2. Обязать Первое главное управление при Совете Министров СССР (т.т. Ванникова и Завенягина) в 2-месячный срок разработать и представить в Совет Министров СССР мероприятия по обеспечению постройки в Лаборатории «В» опытной энергетической установки мощностью по паровой турбине 5 тысяч квт с 3-мя опытными *кристаллизаторами* на *увлажненном олове-115* (*оловяно-керамический кристаллизатор* с водяным охлаждением, *оловяно-керамический кристаллизатор* с газовым охлаждением и *оловяно-керамический кристаллизатор* с газовым охлаждением и расплавленным металлом), предусмотрев ввод в действие установки в 1951 г.⁵

Видно, что сроки были назначены чрезмерно оптимистические.

Интересно, что даже в совершенно секретных документах из особой папки в это время применяются эвфемизмы (в терминологии специалистов тех лет *легенды*): слова «кристаллизатор» вместо «реактора», или, как его тогда называли, «котел», и «увлажненное олово-115». Да, существует стабильный изотоп олова с весом 115 (0,35 % от общего количества), но он никак не применим для ядерной энергетики.

Псевдоним «олово-115» расшифровывается как «уран-235», «керамика» — это графит, «увлажненное» — обогащенное. Соответственно, обеднение вещества по какому-то изотопу называлось в документах «сушкой»⁶, нейтроны — «нулевыми точками», изотопы — «полимерами». Подобные сокращения встречались и в других постановлениях (например, в постановлении № 828-304сс/оп⁷).

Точно так же уран-233 и плутоний-239 заменялись в те времена даже в совершенно секретных документах псевдонимами «селен-77» и «теллур-120» (расшифровка установлена на основе постановления СМ СССР № 1761-686сс «О задачах и программе испытаний на полигоне № 2 в 1953 году»⁸, хотя, как мы помним, в распоряжении ГКО № 2352 от 28 сентября 1942 г. уран еще назывался ураном).

Применение подобных эвфемизмов было обязательным и регламентировалось приказами генерал-лейтенанта Павла Яковлевича Мешика,

⁵ Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Ф. 5446. Оп. 36с. Д. 8. Л. 168.

⁶ См.: Горобец Б. «Строго секретно. Особая папка» // Мировая энергетика. 2008. № 5. С. 92–93.

⁷ ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 36с. Д. 8. Л. 162.

⁸ Постановление СМ СССР № 1761-686сс «О задачах и программе испытаний на полигоне № 2 в 1953 году» // Атомный проект СССР. Документы и материалы / Ред. Л. Д. Рябев. М.; Саров: Физматлит, 2007. Т. 2: Атомная бомба. 1945–1954. Кн. 7. С. 561–564.

заместителя начальника ПГУ, отвечавшего в управлении за режим секретности. Время от времени коды менялись. В марте 1953 г. Мешик был назначен министром внутренних дел УССР и перестал заниматься атомным проектом. 23 декабря 1953 г. его расстреляли вместе с Берией. После этого применение эвфемизмов перестало быть обязательным.

В постановлении от 16 мая 1950 г. уже приведена мощность по паровой турбине: 5 тыс. кВт. Именно такая электрическая мощность и была достигнута в 1954 г., что можно принять за свидетельство того, что уже в это время проект будущей АЭС был продуман.

Организации, участвовавшие в атомном проекте, в конце 1949 г. также получили названия, никак не связанные с направлением их деятельности. 4 апреля 1949 г. распоряжением Президиума АН СССР № 386 Лаборатория № 2 была переименована в Лабораторию измерительных приборов АН СССР (ЛИП АН), открытое наименование п/я 3393. Ныне лаборатория известна как Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». Именно ЛИП АН начала разработку первой в мире атомной электростанции.

Проектирование и разработка

В Советском Союзе решения высших органов власти часто узаконивали уже ведущиеся работы. В данном случае создание реактора для АЭС также началось задолго до появления постановления СМ СССР № 2030-788, еще в 1949 г.

С 1949 г. реактор «АМ» разрабатывал НИИ химического машиностроения, созданный в пос. Нижнеисетск Свердловской области приказом наркома минометного вооружения П. И. Паршина от 18 августа 1942 г. и возглавлявшийся Доллежалем. В 1943 г. НИИ перевели в Москву⁹, а в 1946 г. привлекли к работам по атомному проекту.

Во многих источниках аббревиатура «АМ» расшифровывается как «атом мирный», но документов, подтверждающих такую расшифровку, найти не удалось. В то же время мирные реакторы второго поколения АМБ-100, установленные на Белоярской АЭС, действительно, расшифровываются как «атом мирный большой»¹⁰. Существует и вариант расшифровки «атом морской»¹¹, однако водо-графитный «АМ» сильно отличается от водо-водяных реакторов подводных лодок, да и мощность его слишком мала для АПЛ. Интересную версию высказал ветеран отрасли Л. А. Кочетков:

⁹ См.: История института // <http://www.niichimmash.ru/about/story/>.

¹⁰ См.: Белоярская атомная электростанция. Первенец большой атомной энергетики СССР // <http://musen.ru/chronicle/1964/>.

¹¹ См., например, справку об АЭС на сайте «Росатома» <http://www.srrosatom.ru/node/718>.

...название получилось следующим образом. Как известно, в Челябинске-40 был построен промышленный уран-графитовый реактор «А». В какой-то мере реактор «АМ» был его аналогом, но меньшим по мощности. Отсюда и вытекало его название – «А маленький»¹².

НИИхиммаш и сейчас существует под тем же наименованием, но работы по атомной энергии в 1952 г. выделили в отдельную организацию – НИИ-8, директором которой назначили Доллежала. Сейчас это Научно-исследовательский и конструкторский институт электротехники им. Н. А. Доллежала (НИКИЭТ). Основная задача института в то время – разработка реакторов для подводных лодок, и первый проект судового реактора был завершен в 1954 г.

Научное руководство проектом реактора для будущей АЭС осуществляла ЛИП АН, а в 1951 г. тему передали в Лабораторию «В». Она, так же, как и Лаборатория «Б» (ныне Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е. И. Забабахина» в г. Снежинске), Институт «А» и Институт «Г» в Сухуми, входила в 9 ГУ (главное управление) НКВД, которым руководил А. П. Завенягин.

Лаборатория «В» была создана 31 мая 1946 г. согласно постановлению СНК СССР № 3117-937сс от 19 декабря 1945 г. как раз для разработки ядерных реакторов. Руководил лабораторией немецкий физик Рудольф Хайнц Поле, вывезенный в феврале 1946 г. из Германии вместе с женой и пятью детьми. Позднее директором лаборатории стал бывший зам. директора по научной части Андрей Капитонович Красин.

В начале 1947 г. в состав лаборатории входили только 16 научных работников и 15 человек вспомогательного персонала¹³, но уже к концу того же года в ней числились 262 сотрудника, в том числе 40 ИТР¹⁴. В некоторых документах она называется Лабораторией № 3. В 1959 г. Лейпунский в своей автобиографии назвал лабораторию «Физическим институтом Главатома»¹⁵. Интересно, что, хотя Лаборатория «В» и ФЭИ никогда не входили в состав АН СССР, во многих официальных документах АЭС называли «атомной электростанцией Академии наук СССР»¹⁶.

¹² Кочетков Л. А. История жизни Первой АЭС в подробностях // <http://www.atominfo.ru/news/air6770.htm>.

¹³ ГАРФ. Ф. 10208. Оп. 2. Д. 887. Л. 23.

¹⁴ ГНЦ РФ ФЭИ – история и современность // <https://mephi.ru/graduate/applicant/fei.ppt>.

¹⁵ См.: Фролов Ю. В. А. М. Лейпунский. Страницы жизни. Обнинск: ФГУП «ГНЦ РФ – ФЭИ», 2013. С. 12–13.

¹⁶ См., например, постановление Секретариата ЦК КПСС «О посещении иностранными учеными институтов по ядерной физике», Ст 75/200гс от 20 августа 1958 г. (История создания ОИЯИ в решениях ЦК КПСС. 1955–1958 / Сост. Б. М. Старченко и др. Дубна: ОИЯИ, 2015, С. 46): «Принять предложение Славского и Курчатова о посещении группой иностранных ученых [...] Атомной электростанции Академии наук СССР...».

В 1960 г. лабораторию переименовали в Физико-энергетический институт (ФЭИ), а в 1996 г. институту присвоили имя Александра Ильича Лейпунского, работавшего в Лаборатории «В», а позднее в ФЭИ с августа 1949 г.

До 1956 г. Лаборатория «В» входила в состав Объекта «В». Кроме лаборатории объект включал в себя подсобные, вспомогательные и хозяйственные службы. В 1956 г. поселок при Лаборатории «В» получил статус города Обнинска, и ему были переданы многие службы Объекта «В».

Постановлением СМ СССР от апреля 1950 г. на лабораторию было возложено выполнение научно-исследовательских работ «в области создания энергетических кристаллизаторов (на тепловых, промежуточных и быстрых нулевых точках) и разработка более совершенных конструкций их»¹⁷. Очередным постановлением СМ СССР № 2857-1145сс от 1 июля 1950 г. директором лаборатории назначался доктор физико-математических наук Д. И. Блохинцев, а его заместителем — полковник П. И. Захаров¹⁸.

Интересно, что в этом постановлении лаборатории предписывалось провести

разработку для энергетической установки, в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 16 мая с. г., конструкции высокотемпературного *кристаллизатора на увлажненном олове с окисью алюминия в качестве тормозного устройства и расплавленным металлом или неоном* (курсив в оригинале. — Ю. К.) в качестве охладителя. (Основные исполнители: проф. Лейпунский, проф. Позе, инж. Шолкович, доктор Чулиус)¹⁹.

«Окись алюминия» — это окись бериллия. Что означал «неон в качестве охладителя» на «птичьем» секретном языке советских документов не ясно, но это явно не вода. Поэтому из постановления следует, что окончательно даже тип реактора для будущей электростанции в июле 1950 г. определен не был. А ведь пустить ее, согласно предыдущему постановлению № 2030-788 от 16 мая 1950 г., надо было уже в следующем, 1951 г.!

Генераторную часть станции разрабатывало ленинградское отделение треста «Теплоэлектропроект», турбина и генератор размещались в турбинном зале Обнинской ТЭЦ, удаленной от здания с реактором примерно на 100 м. Проекты автоматического управления, системы регулирования мощности реактора и системы контроля измерений выполняли в ОКБ-12 (ныне ОАО «Авиационная электроника и

¹⁷ ГАРФ. Ф. 10208. Оп. 2. Д. 887. Л. 199.

¹⁸ Постановление СМ СССР № 2857-1145сс/оп «О работе научно-исследовательских Институтов «А» и «Г» и Лабораторий «Б» и «В» Первого главного управления при Совете Министров СССР // Атомный проект СССР. Документы и материалы / Ред. Л. Д. Рябев. М.; Саров: Физматлит, 2005. Т. 2: Атомная бомба. 1945–1954. Кн. 5. С. 230.

¹⁹ Там же.

коммуникационные системы») треста «Теплоконтроль» Министерства авиационной промышленности²⁰.

Много хлопот доставили ТВЭЛы. От первой конструкции, в которой в стальную трубу помещалась урановая втулка, а передача тепла от нее к стенкам обеспечивалась слоем расплавленного свинца, пришлось отказаться — ТВЭЛы не выдерживали ресурсных испытаний. Только в начале 1953 г. Владимир Александрович Малых предложил оправдавшее себя решение: между внешней и внутренней трубкой из нержавеющей стали засыпалась урановая крошка и крошка металлического магния. Они спекались в прочный и хорошо теплопроводящий монолит, при этом не повреждались и стальные стенки. Такая конструкция нашла применение и в других реакторах²¹.

Здание станции проектировал Ленинградский проектный институт ГСПИ-11 под руководством А. И. Гутова. Оно выполнено в стиле советского «сталинского» ампира для того, чтобы выглядеть как нормальное институтское здание и не рассекречивать своим видом объект. Но, конечно, конструкция и станции, и собственно здания была совсем необычной.

Немецкая турбина

Параметры пара, выдаваемого реактором, были слишком низки по меркам ТЭЦ того времени: чуть более 60 атм, в маломощных ТЭЦ давление составляло 90 атм, и расход его тоже был низок²². В 1950-е гг. ни ленинградский, ни свердловский, ни харьковский заводы турбины, рассчитанные на мощность всего 5 МВт и давление 60 атм, не строили.

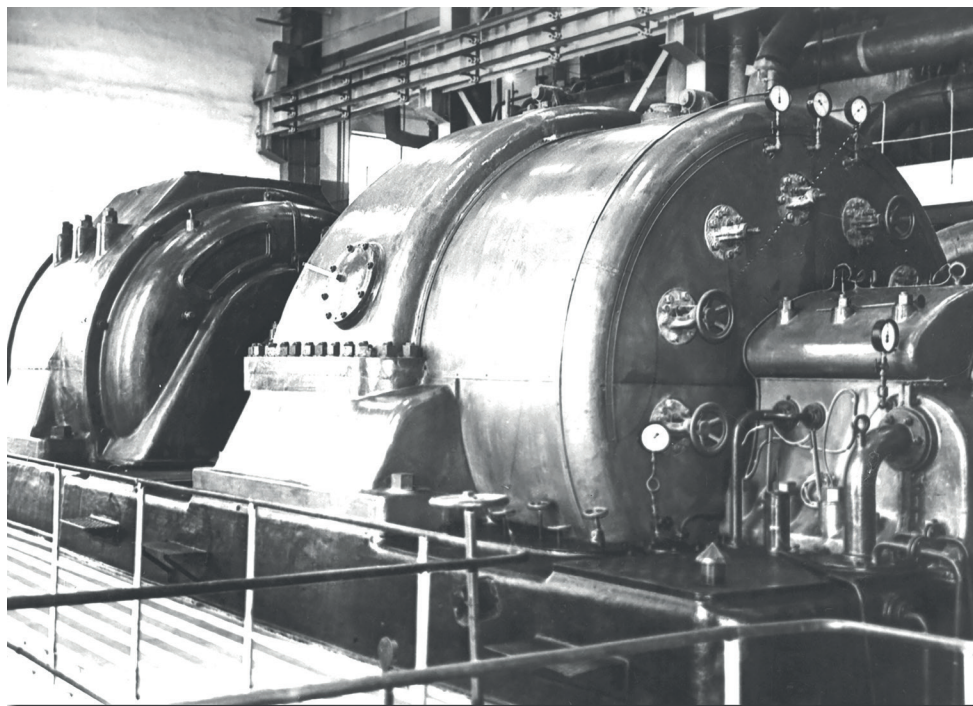
Требовалась низкооборотная турбина. Поэтому применили паровую турбину производства немецкой фирмы МАН (*MAN*, Оберхаузен). Согласно местным легендам, турбина была 1905 г. постройки²³ и закуплена для одной из московских электростанций примерно в то же время. Турбину, по словам сотрудников станции, нашли в неработающем состоянии на складе «Мосэнерго». Вал турбины был погнут, попытки выправить его на заводе в Харькове не увенчались успехом. Поэтому вал успешно выпрямили в самой Лаборатории «В» — это была очень непростая задача.

²⁰ АВЭКС: оборудование для космоса и ядерных реакторов // https://vpk.name/news/118544_aveks_oborudovanie_dlya_kosmosa_i_yadernyih_reaktorov.html.

²¹ История Росатома. Эпоха Средмаша. 1954 г. // <http://www.biblioatom.ru/tl/year/1954/>.

²² Параметры пара, генерируемого реакторами, так и остались повсеместно ниже, чем пара, производимого на ТЭС. Так, в АЭС США принята температура пара чуть выше 290 °С при давлении 7,6 МПа (76,8 атм).

²³ См., например, интервью с Ю. А. Стужневым, главным инженером реакторной установки «Первая АЭС» с 1981 по 1990 г.: *Стужнев Ю. А.* Ходить надо ногами по земле // <http://www.atominfo.ru/news/air118.htm>.

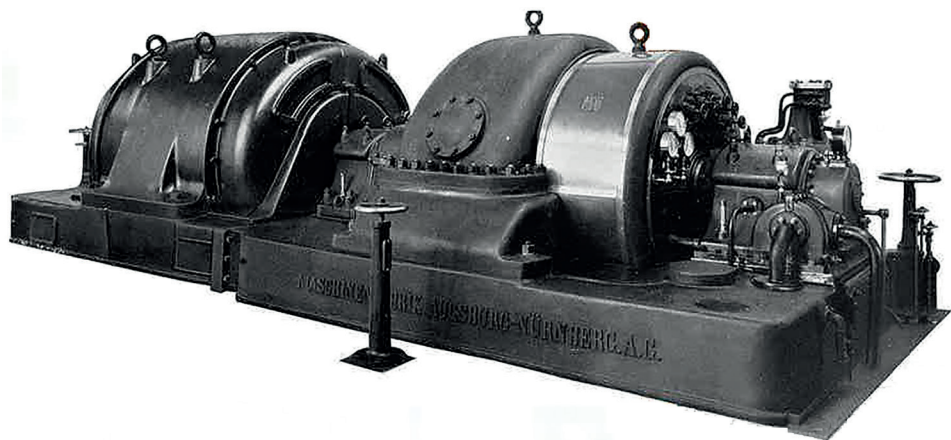


Турбина MAN Обнинской электростанции. Фото «Росатома»

Попытка выяснить историю турбины в «Мосэнерго» ничего не дала. Но, к счастью, помог пресс-центр компании «МАН дизель унд турбо». Оказалось, что фирма МАН начала производство турбин в 1904 г., но в 1905 г. выпускались лишь агрегаты типа *GHN* мощностью 300 кВт. Турбины же мощностью 5000 кВт компания начала производить только в 1911 г. Обнинской же турбине в юбилейном проспекте фирмы 1934 г. соответствует фотография турбины 1912 г. выпуска²⁴. Таким образом, турбина произведена не в 1905-м, а в 1912 г.

В том же проспекте указаны две поставки турбин в Российскую империю до начала Первой мировой войны. В Москву для одной из городских электростанций была отправлена турбина мощностью 43 500 л. с. — но это явно не обнинская, слишком велика. Турбина мощностью 5400 л. с. (4 МВт, скорее всего, ее можно было форсировать до 5 МВт) была поставлена трамвайному депо Варшавы. И вполне вероятно, что она была вывезена в Москву перед оставлением города во время Первой мировой войны — что, в частности, может объяснить и погнутый вал.

²⁴ 30 Jahre MAN Dampfturbinen. Nürnberg: Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG, 1934. S. 14.



Турбина MAN мощностью 5500 л. с. 1912 г. выпуска — вероятный кандидат на роль турбины первой АЭС (30 Jahre MAN Dampfturbinen...)

В 1972 г. производство электроэнергии на Обнинской АЭС прекратилось, турбину демонтировали и отправили в металлолом. В музее АЭС сохранилась лишь одна лопатка ²⁵.

Только в 2012 г. в Обнинске запустили новую современную ГТУ-ТЭЦ № 1 мощностью 20,8 МВт электроэнергии и почти 50 Гкал/час с газотурбинным агрегатом *General Electric LM2500 DLE*, станция работает на природном газе ²⁶. До этого много лет город — первенец атомной электроэнергетики был энергодефицитным.

Особенности конструкции

Работы по созданию атомной электростанции имели, как и будущая космическая программа, очень высокий уровень секретности. Тем удивительнее, что многие сведения о конструкции АЭС были доложены уже на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве в августе 1955 г. ²⁷ А в начале 1956 г. в первом же номере нового журнала АН СССР «Атомная энергия» появилась подробная статья о конструкции реактора АЭС ²⁸. Статья во многом повторяла доклад Блохинцева и Николаева на Женевской

²⁵ Стужнев. Ходить надо ногами по земле...

²⁶ Финальная точка // www.admoblkaluga.ru/main/news/events/detail.php?ID=134039.

²⁷ Блохинцев Д. И., Николаев Н. А. Первая атомная электростанция СССР и пути развития атомной энергетики // Реакторостроение и теория реакторов. Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 3.

²⁸ Блохинцев Д. И., Доллежалъ Н. А., Красин А. К. Реактор атомной электростанции АН СССР // Атомная энергия. 1956. Т. 1. Вып. 1. С. 10–24.



*Здание первой АЭС (Блохинцев, Николаев.
Первая атомная электростанция
СССР... С. 4)*

конференции²⁹. Как видно, фамилии истинных создателей реактора не держали в секрете.

Для сравнения укажем, что первые правдивые фотографии космического корабля «Восток» появились в советской прессе только в 1965 г., через четыре года после триумфального полета Ю. А. Гагарина, фамилия главного конструктора С. П. Королева стала известной только после его смерти в 1966 г., а фамилии других ведущих участников космического проекта: Келдыша, Глушко, Бабакина, Рязанского, Пилюгина и др. — еще позднее.

В статье сказано, что реактор тепловой мощностью 30 тыс. кВт использовал в качестве замедлителя графит, теплоносителем

была дистиллированная вода, которая и слабо поглощает нейтроны, а значит, не мешает работе реактора, и не становится сильно радиоактивной после прохождения через активную зону реактора, да к тому же еще и дешева.

Атомы кислорода, поглотившие один или два нейтрона (изотопы O^{17} и O^{18}), остаются стабильными. Если же нейтрон поглотил O^{18} (в природе доля этого изотопа 0,2 %), то получается радиоактивный O^{19} . Но его период полураспада всего 26,5 сек., а значит, наведенная радиоактивность теплоносителя быстро уменьшается еще в пределах горячей зоны. Более опасен тритий H^3 с неприятным периодом полураспада 12,3 года, но ситуацию улучшает очень малое сечение реакции нейтронов с дейтерием — неслучайно же тяжелая вода D_2O — один из лучших замедлителей нейтронов — и очень малая энергия распада трития — всего несколько кЭв. Это несомненные плюсы воды.

Вместе с тем температура кипения воды при нормальном давлении слишком низка для получения электроэнергии, поэтому воду нужно сильно сжать. В этом принципиальное отличие энергетического реактора от оружейного: тот можно охлаждать водой при обычном давлении и относительно низкая температура, менее 100 °С, не только не мешает его работе, но и уменьшает скорость различных химических реакций, ведущих к коррозии трубопроводов и другим нежелательным последствиям.

²⁹ Блохинцев, Николаев. Первая атомная электростанция СССР... С. 3–49.

В статье Блохинцева, Доллежала и Красина были указаны и давление теплоносителя в первом контуре (100 атм), и рабочая температура (280 °С, что несколько ниже температуры кипения при том же давлении — 309 °С). Такие параметры теплоносителя имеют еще одно преимущество: под действием радиации вода разлагается на водород и кислород и может получиться взрывоопасный гремучий газ. Но оказывается, что при данных температуре и давлении ионы вновь сливаются в молекулы воды столь быстро, что концентрация водорода и кислорода в теплоносителе ничтожно мала, и предлагавшиеся дополнительные меры по устранению этих газов — например установка катализаторов рекомбинации из платиновой сетки — не потребовались.

Давление во втором контуре на схеме в статье указано несообразно низким — 12,5 атм. Это намного меньше температуры кипения при 270 °С. До сих пор на атомных электростанциях применяют именно насыщенный пар из-за его относительно невысокой температуры. Применение перегретого пара оправдано только на ТЭС³⁰. Но турбина МАН, действительно, была рассчитана на применение перегретого пара с температурой 300 °С и давлением только 11 атм³¹. Поэтому и пришлось использовать сильно перегретый пар, ухудшая КПД АЭС. Вероятно, читатели статьи, которые были не в курсе процедуры подбора турбины, сильно удивлялись такому выбору параметров второго контура.

Регулировка реактора осуществлялась стержнями из карбида бора — материала, сильно поглощающего нейтроны. Стержни вдвигались и выдвигались автоматически, по сигналу ионизационных камер, измеряющих уровень радиации, а значит, и интенсивность ядерных реакций. Таким образом, окись бериллия, предусмотренная постановлением СМ СССР от 1 июля 1950 г., в реакторе тоже не применялась.

Трубы системы охлаждения реактора делали из нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т: цифры означают содержание в стали хрома, никеля и титана соответственно. Применялись трубы двух размеров: внутренние имели диаметр 9 мм и толщину 0,4 мм, а внешние, диаметром 14 мм, были еще тоньше, всего 0,2 мм. Толще их делать было нельзя, так как сталь весьма интенсивно поглощает нейтроны, что резко уменьшает КПД реактора.

В организации производства таких тонкостенных труб неожиданно пригодился опыт авиастроителей — непростая промышленная технология обработки, в том числе сварки тонких деталей из нержавеющей стали, была освоена в СССР впервые в мире еще в 1930-е гг. в процессе налаживания серийного производства цельносталевых самолетов «Сталь-2» конструкции А. И. Путилова. Неслучайно адресаты из Министерства авиационной промышленности входят в большинство лис-

³⁰ Щегляев А. В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин. В 2 т. 6-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1993. Т. 1. С. 34–36, 58–60.

³¹ 30 Jahre MAN Dampfturbinen... S. 14.

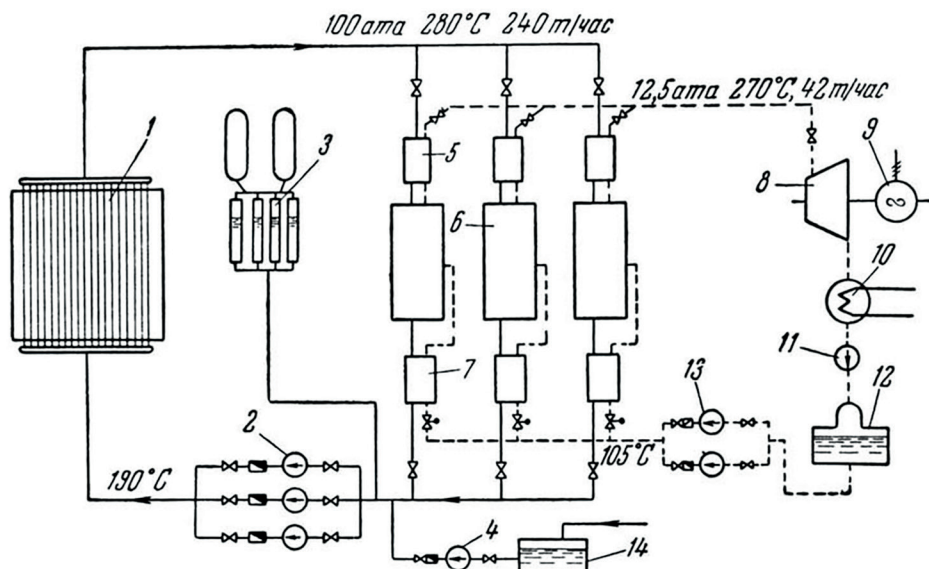


Рис. 2. Тепловая схема электростанции.

1—реактор; 2—циркуляционные насосы; 3—компенсаторы объема; 4—насос подпитки первого контура; 5—пароперегреватель; 6—испаритель; 7—подогреватель; 8—турбина, 9—генератор; 10—конденсатор; 11—насос для конденсата; 12—деаэратор; 13—циркуляционные насосы второго контура; 14—дополнительный бак для воды.

Тепловая схема первой атомной электростанции. Указано удивительно низкое давление пара во втором контуре (Блохинцев, Доллежал, Красин. Реактор атомной электростанции АН СССР... С. 12)

тов рассылки документов, связанных с созданием первой атомной электростанции.

В статье трех авторов приведены и виды реактора в разрезе, и, что очень важно для тех, кто собирается повторить путь первопроходцев, — список и взаимосвязь задач, которые пришлось решить при создании станции. Причины такой открытости по сравнению с другими крупными советскими проектами, скажем, в областях ракетостроения, самолетостроения, развития радиолокации еще предстоит изучить.

Необычным было и само здание электростанции. При его проектировании особое внимание уделялось двум связанным задачам: обеспечению радиационной безопасности персонала и внешней среды и обеспечению безопасности реактора при внешних воздействиях. Сам реактор был заключен в герметичный цилиндрический бак из нержавеющей стали. Затем шел метровый слой воды, а стены реакторного зала были сделаны из монолитного бетона толщиной три метра. Над реактором установили дополнительный графитный щит, отражающий прорвавшиеся через слои защиты нейтроны, и защитную чугунную плиту.



Самолет «Сталь-2»

Загрузка реактора составляла 560 кг ³² обогащенного урана, содержащего 5 % урана-235. В процессе работы содержание изотопа падало до 4,2 % (в первые годы эксплуатации, позднее доля используемого топлива увеличилась), затем топливо заменялось. Таким образом, всего до перезагрузки расходовалось $0,8 \% \times 560 = 4,48$ кг делящегося изотопа.

Можно рассчитать и время между перезагрузками топлива, при этом неожиданную помощь оказывает задача № 22.42 из знаменитого сборника В. С. Волькенштейна. Вот ее условие:

Какая масса m урана ²³⁵₉₂U расходуется за время $t = 1$ сутки на атомной электростанции мощностью $P = 5000$ кВт? КПД принять равным 17 %. Считать, что при каждом акте распада выделяется энергия $Q = 200$ МэВ ³³.

Интересно, что все параметры, и мощность, и КПД, совпадают с параметрами Обнинской АЭС. Решение задачи: 31 г, а значит, 4,48 кг топлива хватит на 144 дня работы — менее пяти месяцев. Такой небольшой срок также подчеркивает экспериментальный характер первой АЭС. Температура пара во втором контуре, следовательно, была чуть ниже 280 °С, а его давление не могло превышать 62 атм (при этом температура кипения равна 276 °С).

При строительстве подумали и о будущей модернизации станции, и о возможности проведения физических экспериментов: в толще стены заранее сформировали каналы, в которых позднее были проложены новые «петли» — трубы с теплоносителем. В результате на станции вплоть до ее закрытия в 2002 г. проводились физические и технологические исследования.

³² 26 июня 1954 год // <http://www.aes1.ru/userfiles/file/doc/3.pdf>.

³³ Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. 11-е изд. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. С. 249.

Итак, схема реактора и конструкция здания были выбраны верно: станция получилась эффективной, безопасной и относительно недорогой. Правоту решений подтвердила и последующая ее почти полувековая эксплуатация.

Выбор места

Место для первой атомной электростанции выбирали по многим критериям: объект должен был быть одновременно и защищен от разведки противника, и быть доступным для посетителей, командировочных, сотрудников центральных институтов, поэтому желательным было его размещение недалеко от Москвы, но вне крупных населенных пунктов. Примерно по тому же принципу выбиралось место и для будущего ОИЯИ — Объединенного института ядерных исследований в г. Дубне, а тогда — Гидротехнической лаборатории Министерства среднего машиностроения³⁴. Требовались железная дорога, возможность подвода линий электропередачи, река, достаточное место для строительства станции и поселка. Наконец, самое важное: геостабильность территории, наличие мощного кристаллического щита, исключающего возможность землетрясений.

Исходя из этих соображений была выбрана бывшая дер. Пяткино Потресовского сельсовета Малоярославского района Калужской области на берегу р. Протвы. Ближайший населенный пункт, деревня Потресово, в которой жило около 300 чел., находился на расстоянии более 1 км на юго-запад на другом берегу реки.

Поселок же Лаборатории «В» (с 1956 г. — город Обнинск) строили на востоке — северо-востоке от станции, дома были расположены на удалении 1,3 км и более от АЭС. Сейчас население города превышает 100 тыс. чел.³⁵, и это показывает, что место для станции было выбрано правильно, с запасом, который дал возможность создать большой и удобный для жизни город.

Свое название город получил от находящегося неподалеку железнодорожного разъезда (сейчас это крупная станция) Обнинское, в свою очередь, названного в честь расположенного неподалеку крупного имения. Имение, выйдя в отставку в 1837 г., создал, купив деревни Шемякино, Самсоново и Кривское Боровского уезда, полковник Наркиз Антонович Обнинский (1794—1863). В молодости он участвовал в Отечественной войне 1812 г., в том числе в заграничном походе, в составе Казанского драгунского полка. За подвиги получил орден Святого Владимира 4-й степени с бантом, в 1830—1931 гг. участвовал

³⁴ Киселев Г. В., Русакович Н. А. Краткий очерк истории создания синхротрона Гидротехнической лаборатории АН СССР (ЛЯП ОИЯИ) и итоги первого этапа физических исследований // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2012. Т. 43. Вып. 4. С. 815—875.

³⁵ 113 тыс. на начало 2017 г. Источник: Росстат. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2017 г.

в подавлении польского восстания. В 1855 г. уже пожилой полковник по собственной инициативе сформировал Боровско-Малоярославецкую дружину калужского ополчения для участия в обороне Севастополя, в нее вошло 1009 ратников-добровольцев. Подразделение выступило в поход 18 июля, но уже 27 августа того же года Севастополь был сдан, и ратники вернулись домой ³⁶.

Земельный участок для строительства Объекта «В» был выделен распоряжением Совета Министров СССР № 16507 от 12 октября 1950 г. и решением исполкома Калужского областного совета депутатов трудящихся № 571 от 25 октября 1950 г. Работы по строительству начались на основе постановления СМ СССР № 1965-939 от 12 июня 1951 г. «О сооружении опытной установки В-10» ³⁷. В нем сказано: «Тов. Блохинцеву Д. И. приступить к подготовительным работам на основе утвержденных А. П. Завенягиным и Е. П. Славским генерального плана и перечня работ». Первый ковш земли на месте будущей АЭС вынули в сентябре 1951 г.

Строительство и строители

Постановление СМ СССР от 16 мая 1950 г. требовало построить станцию уже в 1951 г. Но срок этот был, даже без учета возникших при реализации проекта непредвиденных затруднений, связанных с необходимостью изменения конструкции главных агрегатов — тепловыделяющих элементов, совершенно нереальным.

Само строительство, как уже говорилось, началось только в сентябре 1951 г. Стройку возглавлял П. И. Захаров, а первым директором АЭС назначили Н. А. Николаева. 30 марта 1952 г., через полгода, началась укладка бетона в основание реакторного зала: раньше этого сделать было нельзя по климатическим условиям. По ходу дела пришлось менять конструкцию сердца реактора — тепловыделяющих элементов, ТВЭЛов, первые образцы которых не выдержали тепловых испытаний в 1952 г. ³⁸ В письме Завенягина Блохинцеву от 12 сентября 1952 г. сказано:

Лаборатория «В» уже полтора года ведет разработку навески ³⁹ для агрегата «АМ». Из более чем 20 образцов конструкции Лаборатории «В», представленных

³⁶ Ополченцы в Крыму. Из писем и «Походных записок» начальника Боровско-Малоярославецкой 73-й дружины Калужского ополчения Наркиза Антоновича Обнинского (1794–1863) // Московский журнал. 2013. № 12 (276). С. 12–23.

³⁷ Из постановления СМ СССР № 1965-939 «О сооружении опытной установки В-10», 12 июня 1951 г.

³⁸ Кочетков Л. А. К истории создания Обнинской АЭС // История атомной энергетики Советского Союза и России / Ред. В. А. Сидоренко. М.: ИзДАТ, 2001. Вып. 1. С. 96.

³⁹ Так из соображений секретности именовались ТВЭЛы. Буква «В» в названии лаборатории и слова «навеска» в печатном документе, как и во многих подобных, всюду вписаны от руки — их вписывал уже ответственный за подготовку документа после получения его из машбюро.

за это время в НИИхиммаш, 300-часовые проверочные испытания выдержал всего один образец в июне с. г. За два истекших после этого месяца был представлен только один образец, который вышел из строя через 20 часов после начала испытаний. Прошу тщательно разобраться и доложить о причинах неудовлетворительной работы указанного образца навески. Примите самые решительные меры в ликвидации нетерпимого отставания Лаборатории «В»⁴⁰.

Положение спас, как уже говорилось выше, двадцативосьмилетний сотрудник Лаборатории «В» Малых: по его инициативе в лаборатории с сентября 1951 г. велась разработка принципиально новой конструкции ТВЭЛов. Она оказалась успешной, и 25 сентября 1953 г. было принято решение использовать ее в реакторе «АМ». В октябре 1953 г. завод № 12 в подмосковной Электростали получил заказ на производство таких ТВЭЛов. Малых был откомандирован в Электросталь и провел там несколько месяцев, помогая наладить производство. В марте 1954 г. был завершён монтаж реактора и оборудования, началась подготовка к испытаниям, а 30 апреля из Электростали наконец-то был получен комплект ТВЭЛов.

Первую в мире АЭС строили как вольнонаемные работники, так и заключенные. На важный объект в основном направляли заключенных, отбывающих срок за уголовные преступления небольшой и средней тяжести (впрочем, опоздание на работу также считалось уголовным преступлением).

По приказу ПГУ от 8 августа 1950 г. на подготовительные работы по «объекту В-10» отпускались 2 млн руб., из них:

- 250 тыс. — подъездная железная дорога (500 м) и автодорога (1100 кв. м);
- 300 тыс. — ограждение площадки деревянным забором с козырьком из колючей проволоки;
- 500 тыс. — казармы и бараки для военизированной охраны;
- 250 тыс. — ремонт и приспособление имеющихся бараков под размещение строительного контингента на 8 тыс. чел.⁴¹

Строительным контингентом, или спецконтингентом, в отличие от упомянутых далее двух тысяч вольнонаемных рабочих, в те годы называли именно заключенных. А первыми объектами, сданными в первой половине 1952 г., были подъездная железная дорога, четыре

⁴⁰ Письмо исх. № 3791/33 от 12 сентября 1952 г. // Отдел фондов НТиУД ГНЦ РФ ФЭИ им. акад. А. И. Лейпунского.

⁴¹ Приказ ПГУ от 8 августа 1950 г., подписанный Б. Ванниковым: «В соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 16 мая № 2030-788сс/оп о строительстве установки В-10...», хотя в самом постановлении аббревиатура «В-10» нигде не встречается (Там же). См.: Постановление СМ СССР № 2030-788сс/оп «О научно-исследовательских, проектных и экспериментальных работах по использованию атомной энергии для мирных целей» // Атомный проект СССР. Документы и материалы... Т. 2. Кн. 5. С. 215–217.

30-квартирных жилых дома, ясли, детский сад и... «казарма со столовой для строителей-заключенных»⁴².

Немецких специалистов на объекте было немного. В проекте постановления Совета Министров СССР от апреля 1950 г. говорится:

Принять предложение Первого главного управления:

а) об оставлении в НИИ-5, Лаборатории «В» и Лаборатории «Б» для дальнейших работ 99 немецких специалистов, перечисленных в Приложении № 1;

б) об освобождении от работы в Институтах «А» и «Г» и Лабораториях «Б» и «В» 109 немецких специалистов, в том числе 31 военнопленного⁴³.

Но в самой Лаборатории «В», по воспоминаниям ветеранов, работало только пять немецких специалистов. На строительстве же АЭС немецких военнопленных не было совсем.

Пуск

План пусковых работ министр среднего машиностроения Славский и директор Лаборатории «В» Блохинцев утвердили 5 мая 1954 г. Загрузка первой партии топлива производилась с 6 до 9 мая 1954 г.⁴⁴ 9 мая в 19 час. 7 мин. при загрузке 61-го канала была достигнута самоподдерживающаяся цепная реакция невысокой интенсивности, затем несколько дней проверяли параметры реактора, определяли уровень критической массы.

28 мая топливо было загружено во все 128 технологических каналов, но регулирующие стержни пока не вынимались, охлаждающая вода не подавалась. Реактор «АМ» был запущен 12 июня 1954 г., и с 12 до 24 июня его мощность постепенно повышалась с 10 до 75 %, при этом турбина подключена еще не была.

25 июня 1954 г. комиссия по физическому пуску аппарата «АМ» в составе А. К. Красина, Б. Г. Дубовского, В. А. Коновалова и Г. Н. Ушакова подписала акт о выполненных работах. Он был утвержден Славским. Сама комиссия была сформирована по приказу № 286сс от 26 марта 1954 г. предыдущего министра среднего машиностроения В. А. Малышева. Научным руководителем в акте указан Блохинцев.

Энергетический пуск — подача пара в турбину — состоялся 26 июня 1954 г. в 17 час. 45 мин. по московскому времени, при этом была достигнута электрическая мощность 1500 кВт (30 % от запланированной).

⁴² Отчет Лаборатории «В» за первый квартал 1952 г. // Отдел фондов НТиУД ГНЦ РФ ФЭИ им. акад. А. И. Лейпунского.

⁴³ ГАРФ. Ф. 10208. Оп. 2. Д. 887. Л. 197–198.

⁴⁴ Здесь и далее даты приведены по: Акт комиссии по физическому пуску реактора «АМ» // Первая в мире атомная электростанция: документы, статьи, воспоминания, фотографии / Сост. Ю. Ф. Фролов, Ю. А. Левченко. Обнинск: ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», 2014. С. 55–59.

Согласно легенде, академик Курчатов поздравил собравшихся словами «с легким паром»⁴⁵.

В открытой печати о пуске АЭС все центральные газеты сообщили 1 июля 1954 г. При этом в официальном сообщении указана дата 27 июня. Она и приводится во многих изданиях. С этого времени реактор работал на половинной мощности, выдавая 2–2,5 тыс. кВт электроэнергии, которая использовалась Лабораторией «В» и ее жилым поселком, будущим городом Обнинском.

Несколько месяцев длилась борьба с детскими болезнями: иногда реактор останавливался из-за отказов датчиков расхода теплоносителя по два раза в смену, текли во многих местах трубопроводы из нержавеющей стали (напомним, что давление в них составляло 100 атм). В результате пришлось остановить реактор и заменить многие элементы, прежде всего в системе управления и защиты⁴⁶.

В докладе о работе АЭС сказано, что за первые 103 суток эксплуатации станция работала 1500 час. (62,5 суток), не работала – 960 час. (40 суток), в том числе 500 час. заняла замена агрегатов, о которой говорилось выше⁴⁷. Таким образом, простои составляли почти 40 % общего времени.

Но постепенно основные неполадки удалось устранить. Выход реактора на проектную мощность и включение в электросеть общего пользования («Мосэнерго») произошел впервые в мире 25 октября 1954 г.⁴⁸, а официальный ввод в эксплуатацию (приемка энергетиками) состоялся 1 декабря 1954 г.

Реакция на событие

Официальное сообщение о пуске АЭС появилось в «Правде» и «Известиях» 1 июля 1954 г. на основе сообщения информгентства ТАСС от 30 июня 1954 г. Оно было перепечатано многими другими изданиями. Сообщение нельзя назвать полностью правдивым: как написано выше, «ток для промышленности и сельского хозяйства прилежащих районов» АЭС дала только в конце октября. Но мощность станции указана верно, открыто названо и топливо – уран. И нельзя не согласиться со словами: «Вводом в действие атомной электростанции сделан реальный шаг в деле мирного использования атомной энергии».

⁴⁵ Ромашкин Н. Россия в строительстве реакторов на быстрых нейтронах опережает остальной мир // Обнинский вестник. 29 сентября 2005 г. № 38 (65). С. 3. См. также: Кочетков. К истории создания Обнинской АЭС... С. 99.

⁴⁶ Кочетков. К истории создания Обнинской АЭС... С. 100.

⁴⁷ Доклад на научно-техническом совете «О работе АЭС», 13/X-1954 г. // Первая в мире АЭС – как это начиналось. Сборник историко-архивных документов / Гл. ред. Л. А. Кочетков. Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 1999. С. 124.

⁴⁸ Беседа Д. Габрианович с Л. А. Кочетковым. Великий переворот в жизни человечества // Обнинск (газета). 16 июня 2009 г. № 72 (3147). С. 4.

В открытых публикациях АЭС называлась просто «атомной электростанцией», без указания местонахождения. В документах Лаборатории «В» она именовалась «В-10»⁴⁹. В докладной записке руководителей Министерства среднего машиностроения Г. М. Маленкову и Н. С. Хрущеву от 22 июля 1954 г. также использовано название «электростанция В-10», но в дальнейшем оно широко не применялось.

1–5 июля следующего, 1955 г., состоялась Сессия Академии наук СССР и отделений Академии наук СССР по мирному использованию атомной энергии. Ее провели в 1300-местном актовом зале только что построенного Главного здания МГУ им. М. В. Ломоносова на Ленинских горах — число участников и гостей было слишком велико, чтобы поместиться в старых зданиях академии на Ленинском проспекте, д. 14. Присутствовало много иностранных ученых, и не только из стран социализма, но также из Индии, Финляндии, Швеции, Японии.

2 июля 1955 г. «Известия» посвятили сессии всю вторую страницу. Вслед за официальным сообщением были опубликованы тексты выступлений академика А. Н. Несмеянова «На пороге атомной эры», члена-корреспондента АН СССР М. Г. Мещерякова «В глубь микромира», академика А. П. Виноградова «Превращения элементов», академика В. А. Энгельгардта «Радиоактивные изотопы и проблемы жизни».

Единственным неакадемиком в этой когорте авторов был доктор физико-математических наук Василий Степанович Фурсов. Важность его участия в проекте подтверждает не только очень престижная в советское время публикация в «Известиях» рядом с более титулованными товарищами, но и то, что сразу после пуска АЭС, 5 августа 1954 г., его назначили деканом физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Он пробыл на этом посту целых 35 лет.

Женевская конференция

7 августа 1955 г., через 10 лет после атомных бомбардировок городов Японии авиацией США, в Женеве под эгидой ООН открылась выставка, а 8 августа — Международная научно-техническая конференция по мирному использованию атомной энергии. «Правда» сообщила об этом уже 8 августа⁵⁰, «Известия» дали передовицу на эту тему 9 августа и в том же номере отвели событию всю третью страницу.

Женевской конференции предшествовала менее масштабная, но тоже исключительно представительная Международная конференция ученых по изучению проблем атомной энергии, завершившаяся в Лондоне 6 августа. Ее организатором был великий британский математик, логик и философ Бертран Рассел. В резолюции конференции сказано:

⁴⁹ Плановое задание на разработку установки В-10. 26 июля 1950 г. // Первая в мире АЭС — как это начиналось... С. 15–17.

⁵⁰ Во имя мира и прогресса. Открытие Международной научно-технической выставки по мирному использованию атомной энергии // Правда. 8 августа 1955 г. № 220. С. 3.

Применение ядерного оружия грозит человечеству неисчислимыми бедствиями. Участники конференции призывают правительства всех стран мира осознать и публично признать, что мировая война не может способствовать осуществлению их целей⁵¹.

Решения конференций были очень важны для СССР именно в тот момент: хотя к 1955 г. и в СССР, и в США накопили значительный арсенал ядерных бомб, по средствам доставки Советский Союз сильно отставал от потенциального противника. Межконтинентальные баллистические ракеты еще не появились: первая советская ракета с ядерным зарядом Р-5М будет принята на вооружение только 21 июня 1956 г., но ее дальность составляла лишь 1200 км, т. е. она могла угрожать лишь европейским целям. К несению боевого дежурства первая бригада, вооруженная Р-5М, приступила только 10 мая 1959 г.⁵² К концу же 1955 г. в СССР построили всего 17 стратегических бомбардировщиков М-4 Ясищева и Ту-95 Туполева, включая опытные образцы. С 1953 г. заводы в Воронеже, Казани и Куйбышеве серийно производили и дальние бомбардировщики Ту-16, их к концу 1955 г. было куда больше, целых 438, но до США они долететь не могли⁵³.

В США же уже был создан гигантский флот из почти полутора тысяч шестимоторных *Boeing B-47 Stratojet*, которые, используя базы в Великобритании, могли нанести удар по всей европейской части СССР. В 1954 г. началось и производство еще более совершенных, истинно межконтинентальных стратегических бомбардировщиков *Boeing B-52 Stratofortress*⁵⁴. Поэтому можно сказать, что первая советская АЭС, усилившая позиции СССР на конференциях в Лондоне и Женеве, показавшая, что он обладает самыми современными ядерными технологиями, самым своим существованием работала и на укрепление безопасности страны. Возможно, по этой причине центральная советская пресса уделяла в то время очень большое внимание мирному использованию ядерной энергии. Например, вся вторая страница газеты «Правда» за 29 августа 1955 г. рассказывала об Институте ядерных проблем — будущей лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований в подмосковной Дубне⁵⁵.

Советскую делегацию на женевской конференции возглавил Д. В. Скобельцын, его заместителем стал Блохинцев. В делегацию

⁵¹ Резолюция Международной конференции ученых в Лондоне // Известия. 7 августа 1955 г. № 186. С. 6.

⁵² Воскресенский С. Первый ракетно-ядерный меч // Техника и вооружение. 2010. № 7. С. 31–34.

⁵³ Подсчитано по: Засыпкин Ю. В., Костырченко Г. В., Кузьмин Ю. В., Остапенко Ю. А., Симонов А. А., Соболев Д. А. История отечественной авиапромышленности. М.: Русавиа, 2011.

⁵⁴ Подсчитано по: United States Air Forces Statistical Digest 1955. Office of Statistical Control, 1955.

⁵⁵ Достижения науки — на службу мирному строительству. В Институте ядерных проблем Академии наук СССР // Правда. 29 августа 1955 г. № 241. С. 2.

входили В. И. Векслер, А. П. Виноградов, А. Н. Лаврищев, И. И. Новиков (ученый секретарь). Разумеется, не обошлось и без так называемых «советников», на шестерых ученых их было четверо⁵⁶. Кроме основной делегации в Женеву выехали еще 57 советских докладчиков и экспертов (и с ними 37 «технических сотрудников»). Присутствовали и отдельные делегации УССР и БССР как стран – членов ООН: пять и семь человек соответственно⁵⁷.

Советская делегация привезла 200 сборников докладов, сделанных на только что прошедшей в июле сессии АН СССР, их раздали участникам конференции и они вызвали большой интерес. В отчете о работе делегации СССР сказано:

Уместно указать на благоприятное впечатление, которое было вызвано тем фактом, что в представленных на конференцию советских докладах содержались конкретные данные о проведенных в СССР исследованиях, а не только общие соображения, как это было во многих докладах других стран, в том числе и США. По-видимому, не без влияния советских докладов некоторые иностранные доклады были после представления в секретариат конференции советских докладов изменены и даже сняты совсем⁵⁸.

9 августа 1955 г. Блохинцев, выступая на женевской конференции, уделил основное внимание экономике создающейся отрасли. Он признал, что себестоимость энергии, получаемой от первой АЭС, гораздо выше, чем на тепловых электростанциях, но связал это с малыми размерами станции. По словам Блохинцева, при росте размеров уменьшается количество персонала на один киловатт и эксплуатационные расходы, поэтому, хотя ряд факторов еще предстоит уточнить, при мощности 100–200 тыс. кВт стоимость электроэнергии атомной электростанции не будет сильно отличаться от аналогичного показателя тепловой⁵⁹. Будущее подтвердило правильность этой оценки.

Всего же с 8 по 22 августа советская делегация сделала 102 доклада⁶⁰:

...по первой атомной промышленной электростанции СССР, по первому в СССР уран-графитовому физическому реактору, по реактору на обогащенном уране для испытаний материалов, о реакторе на тяжелой и простой воде, проектной

⁵⁶ Отчет о работе делегации СССР на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, 20 августа 1955 г. // Отдел фондов НТИУД ГНЦ РФ ФЭИ им. акад. А. И. Лейпунского. С. 1.

⁵⁷ Там же.

⁵⁸ Там же. С. 2.

⁵⁹ Пути развития атомной энергетики. На Международной научно-технической конференции по мирному использованию атомной энергии // Известия. 10 августа 1955 г. № 189. С. 3.

⁶⁰ Для сравнения: ученые США и Англии совместно представили более 600 докладов (Завенягин А. П. Записка по результатам Женевской конференции / ЭН-4417/2, ЭН-3738, представлена в ЦК КПСС. 10 января 1956 г. // Отдел фондов НТИУД ГНЦ РФ ФЭИ им. акад. А. И. Лейпунского.

схеме гомогенного кипящего реактора, описании лаборатории для работы с радиоактивными веществами ⁶¹.

Авторы записки подчеркивают:

Выступление нашей делегации с докладом о первой промышленной атомной электростанции в СССР и результатах ее годичной эксплуатации было в центре внимания конференции. Этому докладу другие страны не могли противопоставить аналогичные доклады в области мирного применения атомной энергии ⁶².

Подобная открытость была редкой для СССР 1950-х гг., и возможное ее объяснение связано именно с преимуществом США в средствах доставки ядерного оружия: требовалось создать имидж страны, занимающейся именно мирным применением атомной энергии и вместе с тем владеющей всеми необходимыми для производства оружия технологиями.

Кроме докладов, большая открытость была проявлена и в экспозиции женеvской выставки. В частности, на ней были представлены макет здания первой атомной электростанции, изготовленный архитектурно-художественной макетной мастерской Архитектурно-планировочного управления Мосгорисполкома по заказу АН СССР, и два макета атомных реакторов, изготовленных в мастерских Ленинградского исторического военно-морского музея по заказу Министерства обороны СССР ⁶³.

По постановлению СМ СССР № 1978-1061сс от 1 декабря 1955 г. материалы женеvской научно-технической конференции были изданы в 1956 г. в 16 томах очень большим по нынешним временам тиражом 8000 экземпляров. До этого в январе 1956 г. таким же тиражом вышли избранные труды конференции в семи томах ⁶⁴.

Женеvские конференции по мирному использованию атомной энергии стали традиционными: вторая состоялась в сентябре 1958 г., третья — в августе — сентябре 1964 г. ⁶⁵ и т. д.

Безопасность

Подход к безопасности ядерных объектов за прошедшие 60 лет сильно изменился. В номере «Известий» от 10 августа 1955 г., вышедшем во время работы женеvской конференции, целый разворот отдан рассказу

⁶¹ Там же. С. 1–2.

⁶² Там же. С. 3.

⁶³ Приказ министра среднего машиностроения № 391с от 23 мая 1955 г. С. 1; издан в исполнение распоряжения СМ СССР № 4239рс от 21 мая 1955 г. // Отдел фондов НТиУД ГНЦ РФ ФЭИ им. акад. А. И. Лейпунского.

⁶⁴ Приказ министра среднего машиностроения № 910сс от 7 декабря 1955 г. «Об издании материалов Женеvской научно-технической конференции по мирному использованию атомной энергии» // Отдел фондов НТиУД ГНЦ РФ ФЭИ им. акад. А. И. Лейпунского.

⁶⁵ Петросьянц А. М. Третья международная женеvская конференция атомников // Атомная энергия. 1964. Т. 17. Вып. 5. С. 323–328.

о атомной электростанции АН СССР. В «подвале» разворота разместили большой репортаж Владимира Орлова. Несколько предложений из него очень хочется принять за художественный вымысел, но есть опасение, что все происходило именно так, как описал журналист:

Еще очень молодой человек, вероятно, комсомольского возраста, занимает кресло дежурного инженера, острым глазом косится на стрелки приборов, нажимает изредка кнопки, отдает негромкие команды в телефонную трубку. Он несет свою вахту под взыскательным руководством старшего инженера, впрочем, старшего только по должности, но никак не по годам [...]

Добродушно согласившись испытать перед нами бдительность автоматики, молодые люди внезапно и резко нарушили режим реактора. Как переполошились, как захлопотали автоматы, кинувшись выправлять положение! Замигали на пульте лампочки и световые транспаранты, закачались стрелки приборов...⁶⁶

Получается, для выполнения каприза журналистов старший инженер и дежурный инженер «внезапно и резко нарушили режим реактора». К сожалению, после Чернобыля мы знаем, что такие опыты не всегда заканчиваются, как в очерке:

Но одна из стрелок не шелохнулась. Это был прибор, измеряющий выходную мощность установки. Автоматы совместными усилиями удержали на прежнем уровне режим процесса⁶⁷.

Очень хочется считать изложенное художественным вымыслом. В любом случае следует признать, что за прошедшие десятилетия отношение к безопасности на ядерных объектах стало намного более серьезным.

За рубежом

Опыты по получению электричества от атомного реактора проводились еще до принятия решения о строительстве советской АЭС. Впервые в мире при помощи ядерной энергии удалось зажечь лампочку 3 сентября 1948 г., используя реактор X-10 в г. Оук-Ридж, штат Теннесси, США⁶⁸.

Следующий эксперимент был организован в США через три года: 20 декабря 1951 г. электроэнергию начала производить установка, построенная вокруг реактора EBR-1 (*Experimental Breeder Reactor* — экспериментальный реактор-размножитель) в штате Айдахо, около поселка Арко. Он выдавал 200 кВт, которые использовались для освещения здания лаборатории. Но это были именно эксперименты, а

⁶⁶ Орлов В. Атомная электростанция. Очерк // Известия. 10 августа 1955 г. № 189. С. 2–3.

⁶⁷ Там же.

⁶⁸ Oak Ridge National Laboratory. Graphite Reactor // <https://www.ornl.gov/content/graphite-reactor>.

постоянное производство электроэнергии и передача ее в электрические сети общего пользования (ключевое слово здесь — постоянное) начались именно в СССР в октябре 1954 г.

Поселок Арко (менее 1500 жителей) тоже вскоре начал получать энергию исключительно от атомной электростанции, использующей следующий, более мощный реактор того же исследовательского центра, — он назывался *BORAX-III*. Но это произошло уже в 1955 г., на год позже, чем в СССР.

Вторая в мире АЭС была построена в Великобритании. Станция Колдер-Холл мощностью 50 тыс. кВт на побережье Ирландского моря, недалеко от г. Сискейла, была подключена к энергопередающей сети 28 июля 1956 г.

Первая же АЭС в США (и третья в мире) начала отдавать энергию в сеть общего пользования в апреле 1957 г. Это была станция мощностью 60 тыс. кВт, расположенная в г. Форт-Белвуар, штат Вирджиния, реактор назывался *SM-1*. Как и Обнинская АЭС, станция была экспериментальной, но, в отличие от Обнинской АЭС, в американской станции применялся реактор того же типа, что и на американских атомных подводных лодках.

18 декабря 1957 г. (официальное открытие состоялось только 26 мая 1958 г.) в США заработала и первая коммерческая АЭС мощностью 60 тыс. кВт (после модернизации — 72 тыс. кВт) — ей стала АЭС Шиппингпорт в штате Пенсильвания. Она проработала меньше, чем Обнинская АЭС, и была закрыта в 1990 г.⁶⁹

В 1959 г. АЭС появилась и во Франции: в исследовательском ядерном центре Маркуль в 25 км к северо-западу от Авиньона заработала АЭС мощностью 37 тыс. кВт на реакторе газоохлаждаемого типа.

Развитие отрасли

Успешная эксплуатация первой АЭС и триумфальное участие советских делегаций в женеvской конференции убедили руководство страны в перспективности развития атомной энергетики. Сразу после конференции, 29 сентября 1955 г., Президиум ЦК КПСС издал постановление по ее итогам. В нем не только одобрялась деятельность делегаций СССР, УССР и БССР, но и, что намного важнее, утверждались представленные министром среднего машиностроения Завенягиным «мероприятия по работам в области мирного использования атомной энергии».

⁶⁹ Nuclear Research and Development: Shippingport Decommissioning — How Applicable Are the Lessons Learned? September 1990. GAO/RCED-90-208. P. 1–26.

В описании мероприятий (с. 2) сказано: «Поручить тт. Завенягину А. П. и Маленкову Г. М.⁷⁰ внести на утверждение план строительства в 1956–1960 гг. промышленных атомных электростанций».

Решение президиума было подтверждено и в директивах XX съезда КПСС, состоявшегося в феврале 1956 г., а такой документ имел в СССР высшую юридическую силу. Там записано:

Значительно расширить в шестой пятилетке применение атомной энергии в мирных целях. Построить в течение 1956–1960 годов атомные электростанции общей мощностью 2–2,5 миллиона киловатт [...] Построить ледокол с атомным двигателем⁷¹.

Ледокол был построен — знаменитый атомный ледокол «Ленин» вышел на ходовые испытания в сентябре 1959 г. А вот энергетическую часть директив выполнили только на 5 %.

В декабре 1958 г. вошла в строй первая очередь Сибирской АЭС мощностью 100 тыс. кВт с реактором ЭИ-2 в г. Северске Томской области, хотя основной целью этого реактора была наработка оружейного плутония. Да и сама станция административно являлась не частью совнархоза (в данном случае Западно-Сибирского), как остальные электростанции в тот период, а подразделением Сибирского химического комбината Министерства среднего машиностроения. Электроэнергию внешним потребителям станция в этот период не поставляла, поэтому электростанцией считаться еще не могла. Но уже в 1961 г. на той же станции заработал реактор-размножитель АДЭ-3. Он также использовался для производства оружейного плутония (около 500 кг в год), но, в отличие от ЭИ-2, поставлял электричество и тепло сторонним потребителям. Реактор успешно проработал до 1992 г. В 1963 и 1965 гг. к нему добавились аналогичные АДЭ-4 и АДЭ-5, и электрическая мощность Сибирской АЭС для внешних потребителей достигла внушительных 600 тыс. кВт, кроме того, станция давала половину тепла для отопления Северска и треть тепла для отопления крупного областного центра Томска. Все реакторы-размножители были заглушены в 2008 г. в соответствии с соглашением между Минатомом России и Министерством энергетики США от 12 марта 2003 г. о прекращении производства плутония.

В 1964 г., через десять лет после пуска Обнинской АЭС, дали электричество две мощные чисто энергетические (не рассчитанные на накопление оружейного плутония) АЭС: Белоярская в г. Заречном Свердловской области (введена в эксплуатацию 26 апреля 1964 г.,

⁷⁰ В 1953–1955 гг. Маленков был председателем Совета Министров СССР. 31 января 1955 г. решением Пленума ЦК КПСС он был снят с должности с очень резкими формулировками. Маленков был назначен министром электростанций, но сохранил портфели заместителя председателя Совета Министров и члена Президиума ЦК КПСС.

⁷¹ Директивы XX съезда КПСС по шестому пятилетнему плану развития народного хозяйства страны на 1956–1960 годы. М.: Госполитиздат, 1956. С. 8.

электрическая мощность первой очереди 100 тыс. кВт) и Нововоронежская в г. Нововоронеже Воронежской области (введена в эксплуатацию в сентябре 1964 г., электрическая мощность первой очереди 210 тыс. кВт). Опыты по изучению пусковых режимов Белоярской ГРЭС (так в источнике) проводились на реакторе Обнинской АЭС в 1961 г.⁷² После этого число и суммарная мощность АЭС в СССР начали быстро расти.

Международное сотрудничество

В докладе «Помощь Советского Союза другим странам по использованию атомной энергии в мирных целях» на женеvской конференции 1955 г. говорилось: «Для Польши, Чехословакии, Румынии и ГДР [...] начаты работы по проектированию атомного котла тепловой мощностью 2 тыс. кВт». Конечно, это были чисто исследовательские установки: для сравнения, тепловая мощность реактора опытной Обнинской АЭС в 15 раз больше, целых 30 тыс. кВт, что при общем КПД 17 % давало 5 тыс. кВт электроэнергии. Но существовали проекты и более мощных реакторов. На той же странице доклада ниже написано: «Для Китайской Народной Республики проектируется опытный атомный котел мощностью до 6500 кВт, работающий на обогащенном уране с содержанием урана-235 — 2 %» (в Обнинске — 5%).

И уже с 1956 г. станцию начали активно посещать международные делегации. Это способствовало и конкретным переговорам о передаче советских технологий, и повышению престижа страны в целом. С 1956 по 1974 г., по данным отраслевого мемориального комплекса «Первая в мире АЭС», станцию посетили 60 000 человек в составе 2200 делегаций — в среднем одна делегация каждые три дня. Среди них были 6770 иностранных граждан из 85 стран мира. Одним из первых иностранных гостей стал премьер-министр Индии Джавахарлал Неру, побывавший в СССР с официальным визитом с 7 по 24 июня 1955 г., и его дочь — будущий премьер-министр Индии Индира Ганди. В книге гостей Неру записал: «Я счастлив, что мне представился случай познакомиться с Вашей станцией. Я заглянул в будущее»⁷³.

Первая АЭС и подводный флот

«Объект В-10» пригодился и для отработки способов эксплуатации и обучения персонала для будущих атомных подводных лодок в удобных условиях на земле, хотя при проектировании такая цель не ставилась, и реактор «АМ» отличался по конструкции от водо-водяных

⁷² Евдокимов Ю. В., Козлов В. Я., Коночкин В. Г. и др. Опыт работы Первой атомной электростанции // Атомная энергия. 1961. Т. 11. Вып. 1. С. 12–18.

⁷³ Макиенко К. В., Мухутдинов И. М., Кузьмин Ю. В. Россия — Индия: вехи военно-технического сотрудничества. М.: Пента, 2017. С. 26.

реакторов подводных лодок. Но создание специализированных обучающих стендов 27/ВМ и 27/ВТ в Обнинске началось в соответствии с постановлением СМ СССР только в апреле 1953 г., поэтому именно на АЭС до марта 1956 г. прошли обучение экипажи первых двух советских АПЛ: К-3 «Ленинский комсомол» и К-5. Первая группа офицеров-моряков из 15 человек прибыла на станцию Обнинское 12 ноября 1954 г. В 1955 г. к ним добавились еще шесть офицеров, в том числе командир АПЛ К-3 капитан 2-го ранга Леонид Гаврилович Осипенко и командир АПЛ К-5 капитан 3-го ранга Владимир Семенович Салов. Обучение началось в январе 1955 г., а уже в марте первые офицеры — В. Иванов, В. Еременко и Ю. Горбенко — сдали экзамен на допуск к управлению реактором. В апреле они сели за пульт управления самостоятельно ⁷⁴.

В марте 1956 г. рядом со станцией, на территории того же Физико-энергетического института, был принят в эксплуатацию действующий прототип ядерной энергетической установки АПЛ, известный как «стенд 27/ВМ». Он полностью повторял конструкцию ядерного реактора для подводных лодок с водяными замедлителем и теплоносителем и заметно отличался от «АМ» и по схеме, и по мощности. Топливо — обогащенный уран — как и на реакторах АПЛ на 21 % состояло из урана-235 против 5 % в ТВЭЛах «АМ» ⁷⁵. Такое топливо было намного дороже, но зато его перезагрузку можно было проводить значительно реже, что и упрощало эксплуатацию, и повышало боеспособность и безопасность подводного флота. Именно на стенд 27/ВМ перенесли эксперименты в интересах Министерства судостроительной промышленности и Военно-морского флота и обучение моряков. Позднее вошел в строй и стенд 27/ВТ с реактором с жидкометаллическим охлаждением эвтектикой свинец — висмут.

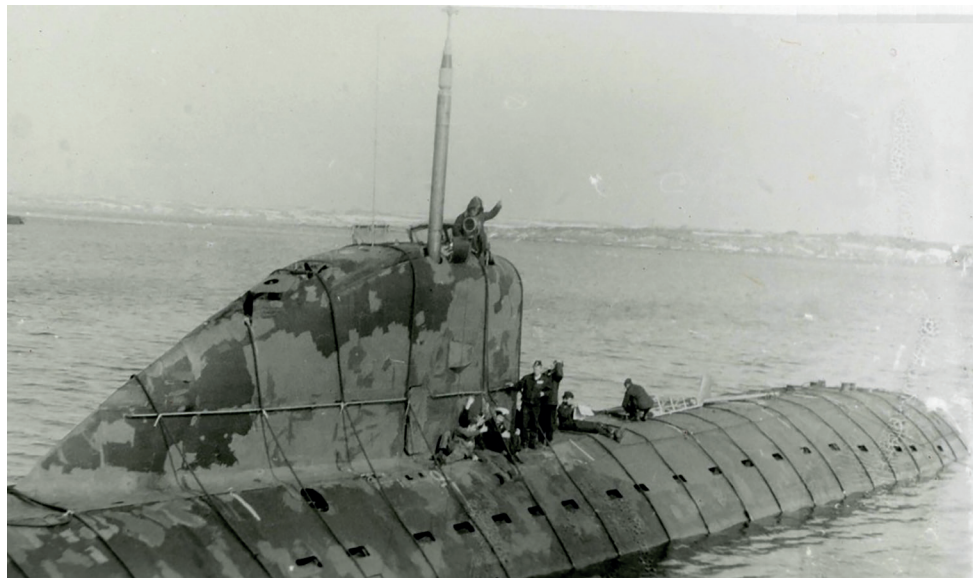
Эксперименты

В последующие годы внимание к станции уменьшилось, центр формирования имиджа СССР как мирной страны — лидера научно-технического прогресса — сместился в область освоения космоса. Но работы на станции не прекращались. Кроме постоянного производства электроэнергии, Обнинская АЭС активно использовалась и как экспериментальная установка для испытаний оборудования, материалов, отладки технологий, изучения вопросов безопасности и подготовки кадров.

Станция вошла в состав Физико-энергетического института и именовалась «второй площадкой ФЭИ». Она изначально строилась как

⁷⁴ Из воспоминаний старпома, а затем командира К-3 Л. М. Жильцова. О том, как начиналась стажировка экипажей АПЛ на АМ // <http://www.aes1.ru/fromhistory/h11>.

⁷⁵ Колдобский А. Б. Стратегический подводный флот СССР и России: настоящее, прошлое, будущее // Вокруг света. 2005. № 8. С. 147.



Первая советская атомная подводная лодка К-3 «Ленинский комсомол», экипаж которой проходил обучение на первой АЭС

исследовательская установка, поэтому в ней были предусмотрены дополнительные петли для различных теплоносителей: кольцевые трубы с насосами, проходившие через горячую зону реактора и сопрягавшиеся со внешними системами охлаждения. Такие петли позволяли изучать различные схемы организации отвода тепла от реактора. Первые эксперименты с петлями были проведены уже в 1956–1957 гг., в них использовался перегретый пар с температурой 360 °С при давлении всего 85 атм. В открытом резервуаре при таком давлении вода кипит уже при 300 °С. В стандартном же внутреннем контуре Обнинской АЭС использовалась вода, доведенная почти до температуры кипения (309 °С при давлении 100 атм). Чем выше температура теплоносителя, тем больше КПД электростанции. Но использование перегретого пара имеет свои сложности: прежде всего его теплоемкость гораздо меньше, чем у воды того же объема.

Исследования, проведенные в 1956–1957 гг., были применены при строительстве реакторов АМБ-100 («атом мирный большой») и позднее АМБ-200 для первой крупной Белоярской АЭС, о которой уже рассказывалось выше.

В 1959 и 1963 гг. были созданы две петли на кипящей воде без насосов, циркуляция в них достигалась за счет разных плотностей нагретого и охлажденного теплоносителя. Результаты исследований применили при строительстве Билибинской АТЭЦ (атомной теплоэлектроцентрали), запущенной в 1974 г.

Другой способ повышения эффективности станции — рост давления воды с целью получения возможности нагревать ее без кипения до

более высоких температур. Эксперименты с повышенным давлением проводились по программе создания мобильной атомной электростанции ТЭС-3 на базе четырех удлиненных шасси серийного тяжелого танка Т-10 (количество опорных катков с каждой стороны увеличили с семи до девяти). На первом шасси размещался реактор, на втором — парогенератор и насосы первого контура, на третьей — турбина и генератор, а на четвертой — пункт управления, резервный дизель-генератор и аккумуляторы, необходимые для запуска АЭС после разворачивания на местности. Суммарная масса четырех гусеничных машин составляла 310 т, из них 28,5 т приходилось на защиту от радиации.

Электростанция ТЭС-3 была построена в ФЭИ в 1961 г.⁷⁶, и ее КПД был не ниже, чем у прародительницы, несмотря на увеличение относительных потерь, связанное с уменьшением масштабов установки. При тепловой мощности реактора 8800 кВт выработка электроэнергии станцией ТЭС-3 составляла 1500 кВт, т. е. ее КПД, как и у Обнинской АЭС, равнялся 17 %⁷⁷. Испытания мобильной атомной электростанции продолжались до 1965 г., но в 1969 г. проект полностью закрыли по соображениям безопасности.

Эксперименты не ограничивались энергетическими задачами. Уже в 1956 г. на АЭС смонтировали установку для нейтронографических исследований кристаллических структур. По сравнению со стандартными рентгенографическими установками нейтронография имеет существенные преимущества: нейтроны не замечают электронных оболочек и рассеиваются только на ядрах атомов кристалла, что дает возможность измерить параметры кристаллической решетки более точно. Установка проработала почти сорок лет, до 1995 г., несмотря на то что в 1984 г. в том же Физико-энергетическом институте, уже с использованием реактора ИБР-2М, вступил в строй более совершенный спектроскопический комплекс неупругого рассеяния нейтронов ДИН-2К⁷⁸.

В 1963 г. была построена водяная, а в 1966 г. — газовая петля специально для изучения, как ведут себя различные жидкости и газы под действием реакторных излучений. В 1971 г. вошла в строй

⁷⁶ Синева Н. М. и др. Малогабаритная атомная электростанция ТЭС-3 // Атомная энергия. 1964. Т. 17. Вып. 6. С. 448–452 (Доклад № 310, представленный на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1964).

⁷⁷ Подробный доклад об исследованиях на экспериментальных петлях Обнинской АЭС до 1963 г. включительно был сделан на третьей женеvской конференции по мирному использованию атомной энергии. Он опубликован и в виде статьи: Ушаков Г. Н., Кочетков Л. А., Коночкин В. Г., Северьянов В. С., Козлов В. Я., Судницын О. А., Белинская Н. Т., Слюсарев П. Н., Иванов В. А. Опыт эксплуатации Первой АЭС как экспериментальной установки // Атомная энергия. 1964. Т. 17. Вып. 5. С. 359–366. В статье АЭС названа «АЭС им. И. В. Курчатова», ее местоположение не указывается.

⁷⁸ Спектрометрический комплекс неупругого рассеяния нейтронов ДИН-2К // <http://ckp-rf.ru/usu/73616/>.



Офицеры экипажей будущих атомных подводных лодок К-3 и К-5, проходившие обучение на первой АЭС в 1955 г. Снимок сделан после возвращения на флот: в Обнинске все стажеры ходили в гражданском

высоковакуумная петля для исследования различных замедлителей нейтронов.

Модернизировался и сам реактор. Благодаря улучшению конструкции ТВЭЛов и переходу на более экономичное топливо (двуокись урана) экономическая эффективность выросла в пять раз. Если в начале эксплуатации один килограмм топлива давал 120 МВт·ч тепловой энергии, то в конце за счет использования большей доли делящегося изотопа — 600 МВт·ч. В основном этого удалось добиться за счет совершенствования конструкции ТВЭЛов. Если в начале эксплуатации до перезагрузки содержание урана-235 в топливе снижалось с 5 до 4,2 %, т. е. использовалось лишь 15 % делящегося изотопа, то к 1974 г., через 20 лет, удалось увеличить выгорание урана-235 до 50–60 % от начального содержания, а значит, уменьшить конечную концентрацию с 4,2 до 2,5 % и даже до 2 %. При этом теплотворная способность топлива увеличилась в три с лишним раза ⁷⁹. Для сравнения: теплотворная способность одного килограмма угля-антрацита — 28 МДж, или 0,0078 МВт·ч, т. е. в 77 тыс. раз меньше.

⁷⁹ Блохинцев Д. И., Доллежалъ Н. А., Красин А. К. Некоторые выводы из опыта эксплуатации первой в мире АЭС // Атомная энергия. 1974. Т. 36. Вып. 6. С. 424.

Первая АЭС и космос

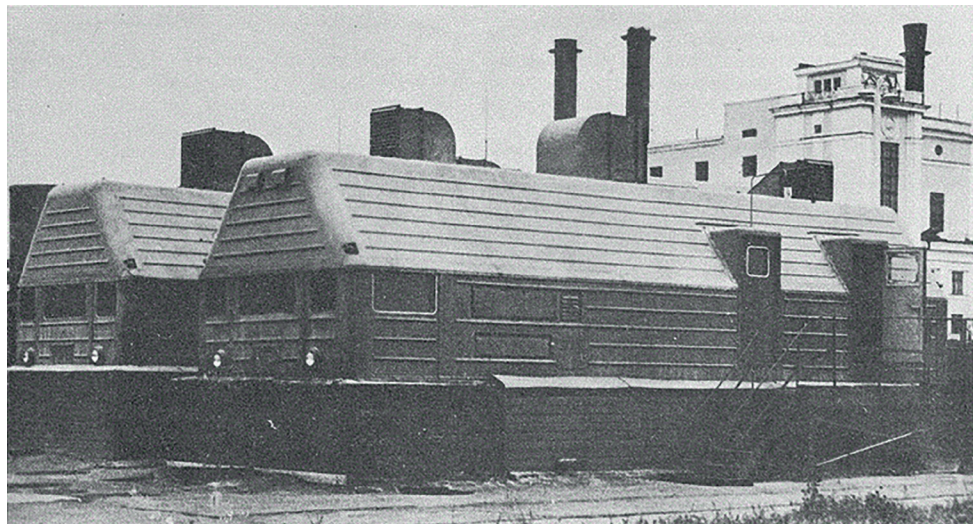
В 1961 г., в год полета Гагарина, в Обнинске начались и эксперименты по космическим программам: на одной из петель изучались ТВЭЛы и термоэлектрические преобразователи для использования на спутниках. 12 мая 1961 г. в Обнинске впервые был получен ток от термоэмиссионного преобразователя. Новшеством было и то, что для передачи тепла от реактора к генератору применялась смесь, состоящая из 22,8 % натрия и 77,2 % калия. Как теплоноситель она обладает всеми преимуществами жидких металлов: высокой теплопроводностью, высокой температурой кипения (785 °С — сравните с 309 °С у сжатой до 100 атм воды в основном контуре АЭС), относительно высокой теплоемкостью и к тому же, в отличие от чистых натрия или калия, очень низкой температурой плавления — 12 °С. А значит, если нет сильных морозов, ядерную энергоустановку перед стартом спутника можно запускать без дополнительного подогрева.

Благодаря этим работам в ОКБ-670 (позднее НПО «Красная Звезда») под руководством И. И. Бондаренко удалось создать ядерную термоэлектрическую установку БЭС-5 БУК (Бортовая Энергосистема, Бортовая установка космическая) с электрической мощностью 3 кВт и ресурсом более четырех месяцев. Она применялась на спутниках радиолокационной разведки УС-А (управляемый спутник, активный) в составе морской системы космической разведки и целеуказания МКРЦ «Легенда», которую спроектировало Центральное конструкторское бюро машиностроения Министерства общего машиностроения под руководством Владимира Николаевича Челомея (ныне «НПО машиностроения»).

Термоэлектрические установки несравненно компактней, легче, проще и надежнее классических АЭС с паровыми турбинами, но за все приходится платить: их КПД составляет только 3–5 % (у БЭС-5 — 3 %, у «Топаза», описанного ниже, — 5 %). Но малый вес и легкость приводят к тому, что в космической технике и у нас, и за рубежом применяется именно эта технология.

Первый спутник с БЭС-5 под открытым наименованием «Космос-367» был запущен 3 октября 1970 г., а всего до 1988 г. в космос стартовали 32 аппарата с ядерными установками БЭС-5. Установка состояла из реактора БР-5 на быстрых нейтронах, 37 ТВЭЛов которого содержали 30 кг 90-процентного урана-235, двухконтурной системы снятия тепла с теплоносителем — смесью натрия и калия — и собственно термоэлектрического генератора.

В 1965 и 1985 гг. в Обнинске смонтировали еще две петли для изучения прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Испытывались разные материалы катодов, в том числе твердые растворы карбидов урана и циркония без оболочек и в оболочках из карбида ниобия и двуокись урана в молибденовых и вольфрамовых оболочках.



Развернутая на территории Физико-энергетического института АЭС ТЭС-3. На переднем плане блок с пунктом управления, за ним — блок с турбогенератором. Гусеницы закрыты щитами для утепления

Результаты работ, начатых сразу после запуска первого БЭС-5 в 1970 г.⁸⁰, позволили создать более совершенную космическую ядерную термоэлектрическую установку «Топаз-1», впервые выведенную на орбиту спутником «Космос-1818» 2 февраля 1987 г. Электрическая мощность установки по сравнению с БЭС-5 выросла вдвое — до 3 кВт, ресурс — почти втрое (более 11 мес.), а вот загрузка урана-235, наоборот, снизилась с 27 до 11,5 кг — налицо значительный прогресс по всем показателям. Во многом успех пришел благодаря новой конструкции ТВЭЛов, объединенных с термоэмиссионными преобразователями, которые разработали в ФЭИ под руководством Малыха — того самого, кто разработал и первые успешные ТВЭЛы для Обнинской АЭС.

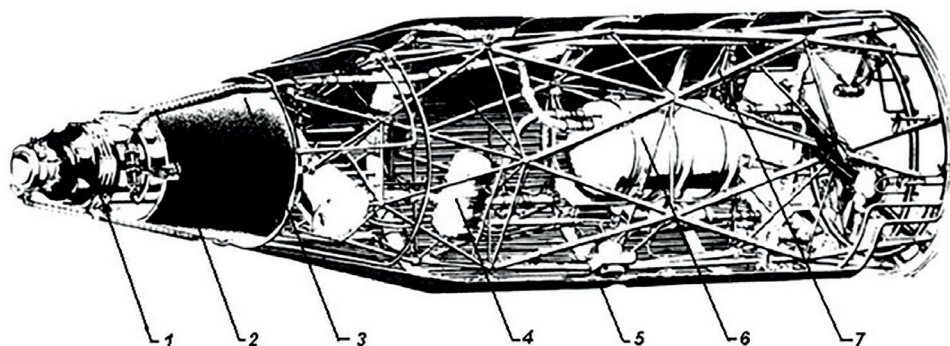
Второй раз «Топаз-1» оказался в космосе 10 июля 1987 г. на борту спутника «Космос-1867», его полет также прошел успешно⁸¹.

Прекращение эксплуатации и музеефикация

Плановый ресурс АЭС составлял 30 лет, но она проработала гораздо дольше, почти 48 лет. Реактор первой в мире атомной электростанции был навсегда заглушен 29 апреля 2002 г. в 11 час. 31 мин. В сентябре

⁸⁰ Кузнецов В. А. и др. Разработка и создание термоэмиссионной ядерно-энергетической установки «Топаз» // Атомная энергия. 1974. Т. 36. Вып. 6. С. 450–457.

⁸¹ Афанасьев И. К истории разработки спутников морской радиоразведки // Новости космонавтики. 2007. № 1. С. 59–61.



Космическая ядерная энергоустановка БЭС-5 БУК. 1 – реактор БР-5; 2 – трубопровод жидкометаллического контура (ЖМК); 3 – радиационная защита; 4 – компенсационный бак ЖМК; 5 – холодильник-излучатель; 6 – термоэмиссионный генератор; 7 – силовая рамная конструкция

того же года была завершена выгрузка топлива из реактора, к 2008 г. опустело и хранилище топлива.

Еще решением исполкома Калужского областного совета народных депутатов от 4 февраля 1991 г. здание Обнинской АЭС получило статус объекта культурного наследия регионального значения. А в 2002 г. было принято решение создать на базе станции отраслевой музейный комплекс. В 2004 г. здание АЭС получило сертификат «Выдающийся памятник науки и техники» экспертного совета при Политехническом музее⁸². Здание имеет ряд конструктивных особенностей, которые делают его не только объектом научно-мемориального наследия, но и уникальным памятником истории техники мирового уровня. Хотя в 2015 г. завершился демонтаж и вывоз радиоактивных узлов и агрегатов, значительную часть технологического оборудования все-таки удалось сохранить⁸³. Теперь для посетителей проводятся экскурсии по трем маршрутам. Вместе с тем музеефикация и содержание станции как полноценного музея требует больших расходов, хотя существование такого уникального музея важно для престижа страны в целом, а его значение выходит за пределы отдельного региона.

Автор выражает благодарность доктору Яну Дитриху Мюллеру и госпоже Герлинде Симон из компании «МАН дизель унд турбо» за помощь в исследованиях.

References

- 26 iunia, 1954 god [June 26, 1954] // <http://www.aes1.ru/userfiles/file/doc/3.pdf>.
30 Jahre MAN Dampfturbinen (1934). Nürnberg: Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG.

⁸² Сведения из базы данных «Памятники науки и техники», Политехнический музей.

⁸³ Зубрилина А., Устинова А. Первая в мире АЭС в Обнинске становится памятником-музеем // <https://tass.ru/v-strane/4594279>.

- Afanas'ev, I. K. (2007) K istorii razrabotki sputnikov morskoi radiorazvedki [Towards the History of the Development of Marine Reconnaissance Satellites], *Novosti kosmonavтики*, no. 1, pp. 59–61.
- AVEKS: oborudovanie dlia kosmosa i iadernykh reaktorov [AVEKS: Space and Nuclear Reactor Equipment], https://vpk.name/news/118544_aveks_oborudovanie_dlya_kosmosa_i_yadernykh_reaktorov.html.
- Beloïarskaia atomnaia elektrostantsiia. Pervenets bol'shoi atomnoi energetiki SSSR [The Beloyarsk Nuclear Power Plant. The Firstborn of the Large-Scale Nuclear Power Industry in the USSR], <http://muse.ru/chronicle/1964/>.
- Beseda D. Gabrianovich s L. A. Kochetkovym. Velikii perevorot v zhizni chelovechestva [A Conversation between D. Gabrianovich and L. A. Kochetkov. The Great Revolution in the Life of Mankind] (2009), *Obninsk*, June 16, no. 72 (3147), p. 4.
- Blokhintsev, D. I., Dollezhal', N. A., and Krasin, A. K. (1956) Reaktor atomnoi elektrostantsii AN SSSR [The Reactor of the USSR Academy of Sciences' Nuclear Power Plant], *Atomnaia energiya*, vol. 1, no. 1, pp. 10–24.
- Blokhintsev, D. I., Dollezhal', N. A., and Krasin, A. K. (1974) Nekotorye vyvody iz opyta ekspluatatsii pervoi v mire AES [Some Conclusions from the Experience of Operating the First in the World Nuclear Power Plant], *Atomnaia energiya*, vol. 36, no. 6, pp. 423–426.
- Blokhintsev, D. I., and Nikolaev, V. A. (1955) Pervaia atomnaia elektrostantsiia SSSR i puti razvitiia atomnoi energetiki [The First Nuclear Power Plant in the USSR and the Nuclear Power Industry's Development Paths], in: *Reaktorostroenie i teoriia reaktorov. Doklady sovetskoi delegatsii na mezhdunarodnoi konferentsii po mirnomu ispolzovaniuu atomnoi energii* [Reactor Building and the Reactor Theory. Reports of the Soviet Delegation at the International Conference for the Peaceful Use of Nuclear Power]. Moskva: Izdatel'stvo AN SSSR, pp. 3–48.
- Direktivy XX s'ezda KPSS po shestomu piatiletnemu planu [The 20th CPSU Congress' Directives Concerning the 6th Five-Year Plan] (1956). Moskva: Gospolitizdat.
- Doklad na nauchno-tekhnicheskome soвете “O rabote AES”, 13/X 1954 g. [The Report “On the Work of the Nuclear Power Plant” at the Science and Technology Council Meeting, October 14, 1954], in: Kochetkov, L. A. (ed.) *Pervaia v mire AES – kak eto nachinalos'.* Sbornik istoriko-arkhivnykh dokumentov [The First Nuclear Power Plant in the World: How It Began. A Collection of Historical and Archival Documents]. Obninsk: GNTs RF FEI.
- Dostizheniia nauki – na sluzhbu mirnomu stroitel'stvu. V Institute iadernykh problem Akademii nauk SSSR [The Achievements of Science in the Service of Peaceful Construction. At the Institute of Nuclear Problems of the USSR Academy of Sciences] (1955), *Pravda*, August 29, no. 241, p. 2.
- Evdokimov, Iu. V., Kozlov, V. Ia., Konochkin, V. G. etc. (1961) Opyt raboty pervoi atomnoi elektrostantsii [The Experience of Operating the First Nuclear Power Plant], *Atomnaia energiya*, vol. 11, no. 1, pp. 12–18.
- Final'naia tochka [The Final Point] // www.admoblkaluga.ru/main/news/events/detail.php?ID=134039.
- Frolov, Iu. V. (2013) *A. M. Leipunskii. Stranitsy zhizni* [A. M. Leipunsky. The Pages of Life]. Obninsk: FGUP “GNZ RF-FEI”.
- GNTs RF FEI – istoriia i sovremennost' [State Scientific Center of the Russian Federation ‘I. I. Leipunsky Institute for Physics and Power Engineering’: History and Nowadays], <https://mephi.ru/graduate/applicant/fei.ppt>.
- Gorobets, B. (2008) Strogo sekretno. Osobaia papka [Top Secret. Special File], *Mirovaia energetika*, no. 5, pp. 92–93.
- Istoriia instituta [The History of the Institute], <http://www.niichimmash.ru/about/story/>.
- Istoriia Rosatoma. Epokha Sredmasha. 1954 g. [The History of Rosatom. The Era of Sredmash. 1954], <http://www.biblioatom.ru/tl/year/1954/>.
- Iz postanovleniia SM SSSR № 1965-939 “O sooruzhenii opytnoi ustanovki V-10”, 12 ii-unia 1951 g. [From the Decree by the Council of Ministers of the USSR No. 1965-939 “On the Construction of the V-10 Power Plant”] (1994), in: Sidorenko, V. A. (ed.)

- K istorii mirnogo ispol'zovaniia atomnoi energii v SSSR. 1944–1951 (dokumenty i materialy)* [Towards the History of Peaceful Uses of Nuclear Energy in the USSR]. Obninsk: GNTs – FTI, pp. 154–156.
- Iz vospominanii starpoma, a zatem komandira K-3 L. M. Zhil'tsova. O tom kak nachinalas' stazhirovka ekipazhei APL na AM [From the Memoirs of L. M. Zhiltsov, Chief Mate (and Later Captain) of K-3. On the Probation of Nuclear Submarine Crews on the AM Reactor], <http://www.aes1.ru/fromhistory/h11>.
- K istorii mirnogo ispol'zovaniia atomnoi energii v SSSR 1944–1951 [Towards the History of Peaceful Uses of Nuclear Power in the USSR in 1944–1951]* (1994). Obninsk: GNZ-FTI.
- Kiselev, G. V., and Rusakovich, N. A. (2012) Kratkii ocherk istorii sozdaniia sinkhrotronskoi Gidrotekhnicheskoi laboratorii AN SSSR (LIaP OIIaI) i itogi pervogo etapa fizicheskikh issledovaniy [A Brief History of Creation of the Synchrocyclotron at the Hydrotechnical Laboratory of the USSR Academy of Sciences and the Results of the First Stage of Physical Studies], *Fizika elementarnykh chastits i atomnogo iadra*, vol. 43, no. 4, pp. 815–875.
- Kochetkov, L. A. (2001) K istorii sozdaniia Obninskoi AES [Towards the History of Creation of the Obninsk Nuclear Power Plant], in: Sidorenko, V. A. (ed.) *Istoriia atomnoi energetiki Sovetskogo Soiuza i Rossii [The History of Nuclear Power Industry in the Soviet Union and Russia]*. Moskva: IzdAT, vol. 1, p. 96.
- Kochetkov, L. A. Istoriia zhizni Pervoi AES v podrobnostiakh [The History of Life of the First Nuclear Power Plant in Detail], <http://www.atominfo.ru/news/air6770.htm>.
- Kochetkov, L. A. Istoriia zhizni Pervoi AES v podrobnostiakh [The History of Life of the First Nuclear Power Plant in Detail], <http://www.atominfo.ru/news/air6770.htm>.
- Koldobskii, A. B. (2005) Strategicheskii podvodnyi flot Rossii [Russia's Strategic Submarine Fleet], *Vokrug sveta*, no. 8, p. 147.
- Kuznetsov, V. A. etc. (1974) Razrabotka i sozdanie termoemissionnoi iaderno-energeticheskoi ustanovki "Topaz" [Development and Creation of the "Topaz" Thermoemission Nuclear Power Plant], *Atomnaia energiya*, vol. 36, no. 6, pp. 450–457.
- Makienko, K. V., Mukhutdinov, I. M., and Kuzmin, Iu. V. (2017) *Rossiiia – Indiiia: vekhi voenno-tekhnicheskogo sotrudnichestva [Russia – India: The Landmarks of Military-Technical Cooperation]*. Moskva: Penta.
- Nuclear Research and Development: Shippingport Decommissioning – How Applicable Are the Lessons Learned?* September 1990. GAO/RCED-90-208. P. 1–26.
- Oak Ridge National Laboratory. Graphite Reactor // <https://www.ornl.gov/content/graphite-reactor>.
- Opolchentsy v Krymu. Iz pisem i "Pokhodnykh zapisok" nachal'nika Borovsko-Maloiaroslavetskoi 73-i druzhiny Kaluzhskogo opolcheniia Narkiza Antonovicha Obninskogo (1794–1863) [Militiamen in Crimea. From the Letters and "Field Notes" of Narkiz Antonovich Obninskii, Head of the 73rd Borovsk-Maloyaroslavets Detachment of Kaluga Militia (1794–1863)] (2013), *Moskovskii zhurnal*, no. 12 (276), pp. 12–23.
- Orlov, V. (1955) Atomnaia elektrostantsiia. Ocherk [Nuclear Power Plant. An Essay], *Izvestiia*, August 10, no. 189, pp. 2–3.
- Petros'iants, A. M. (1964) Tret'ia mezhdunarodnaia zhenevskaiia konferentsiia atomnikov [The Third International Conference of Nuclear Scientists in Geneva], *Atomnaia energiya*, vol. 17, no. 6, pp. 323–328.
- Planovoe zadanie na razrabotku ustanovki V-10. 26 iuliia 1950 g. [The Work Order for the Development of the V-10 Pilot Plant. July 26, 1950], in: Kochetkov, L. A. (ed.) *Pervaiia v mire AES – kak eto nachinalos'. Sbornik istoriko-arkhivnykh dokumentov [The First Nuclear Power Plant in the World: How It Began. A Collection of Historical and Archival Documents]*. Obninsk: GNTs RF FEI, pp. 15–17.
- Postanovlenie Sekretariata TsK KPSS "O poseshchenii inostrannymi uchenymi institutov po iadernoi fizike", St 75/200gs ot 20 avgusta 1958 g. [Decree Issued by the Secretariat of the Central Committee of the Communist Party of the Soviet Union "On Visiting Nuclear Physics Institutions by Foreign Scientists, St 75/200gs, as of August 20, 1958] (2015), in: Starchenko, B. M. etc. (eds.) *Istoriia sozdaniia OIIaI v resheniakh*

- TsK KPSS. 1955–1958 [The History of the Creation of the Joint Institute for Nuclear Research in the Resolutions of the Central Committee of the Communist Party of the Soviet Union].* Dubna: OIIL, 2015, p. 46.
- Postanovlenie SM SSSR № 2857-1145ss/op “O rabote nauchno-issledovatel’skikh Institutov “A” i “G” i Laboratorii “B” i “V” Pervogo glavnogo upravleniia pri Sovete Ministrov SSSR” [Decree Issued by the USSR Council of Ministers No. 2857-1145ss/op “On the Work of Research Institutes “A” and “G” and Laboratories “B” and “V” of the First Principal Directorate under the USSR Council of Ministers] (2005), in: Riabev, L. D. (ed.) *Atomnyi proekt SSSR. Dokumenty i materialy [The USSR Nuclear Project. Documents and Materials]*. Moskva and Sarov: Fizmatlit, vol. 2: Atomnaia bomba. 1945–1954 [The Atomic Bomb. 1945–1954], book 5, p. 230.
- Postanovlenie SM SSSR № 761 686ss “O zadakhakh i programme ispytaniia na poligone № 2 v 1953 godu” [Decree of the USSR Council of Ministers No. 761 686ss “On the Objectives and Programme of the Tests at the Test Site No. 2 in 1953] (2007), in: Riabev, L. D. (ed.) *Atomnyi proekt SSSR. Dokumenty i materialy [The USSR Nuclear Project. Documents and Materials]*. Moskva and Sarov: Fizmatlit, vol. 2: Atomnaia bomba. 1945–1954 [The Atomic Bomb. 1945–1954], book 7, pp. 561–564.
- Puti razvitiia atomnoi energetiki. Na Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii po mirnomu ispol’zovaniiu atomnoi energii [Development Paths of Nuclear Power Industry. At the International Science and Technology Conference on the Peaceful Uses of Nuclear Power] (1955), *Izvestiia*, August 10, no. 189, p. 3.
- Rasporiazhenie GKO № 2352ss “Ob organizatsii rabot po uranu”. 28 sentiabria 1942 goda, [An Instruction of the State Defense Committee No. 2352ss “On the organization of uranium studies”. 28 September 1942] in: Smirnov, Iu. N. (ed.) (2004) *Igor’ Vasil’evich Kurchatov v vospominaniakh i dokumentakh. 2-e izd. [Igor Vasilievich Kurchatov in Memoirs and Documents. 2nd ed.]*. Moskva: IzdAT, pp. 538–539.
- Rezoliutsiia Mezhdunarodnoi konferentsii uchenykh v Londone [The Resolution of the International Scientific Conference in London] (1955), *Izvestiia*, August 7, no. 186, p. 6.
- Riabev, L. D. (ed.) (2007) *Atomnyi proekt SSSR [The USSR Nuclear Project]*. Moskva and Sarov: Fizmatlit, 2007, vol. 2.
- Romashkin, N. Rossiia v stroitel’stve reaktorov na bystrykh neutronakh operezhaet ostal’noi mir [Russia Beats the Rest of the World In Fast-Neutron Reactor Construction] (2005), *Obninskii vestnik*, September 29, no. 38 (65), p. 3.
- Shchegliaev, A. V. (1993) *Parovye turbiny. Teoriia teplovogo protsessa i konstruktssii turbin. V 2 t. 6-e izd. [Steam Turbines. The Theory of Heat Processes and Turbine Design. In 2 vols. 6th ed.]*. Moskva: Energoatomizdat.
- Sinev, N. M. etc. (1964) Malogabaritnaia atomnaia elektrostantsiia [A Small-Sized Nuclear Power Plant], *Atomnaia energiia*, vol. 17, no. 6, pp. 448–452.
- Smirnov, Iu. N. (ed.) (2004) *Igor Vasil’evich Kurchatov v vospominaniakh i dokumentakh. 2-e izd. [I. V. Kurchatov in Memoirs and Documents. 2nd ed.]*. Moscow: IzdAT.
- Sobolev, D. A. (ed.) (2011) *Istoriia otechestvennoi aviapromyshlennosti [The History of the National Aircraft Industry]*. Moskva: Rusavia.
- Spektrometricheskii kompleks neuprugogo rasseianiia neutronov DIN 2K [A Spectrometric Device DIN 2K for Measuring Inelastic Neutron Scattering, <http://ckp-rf.ru/usu/73616/>].
- Stuzhnev, Iu. A. Khodit’ nado nogami po zemle [One Must Tread the Ground On Foot], <http://www.atominfo.ru/news/air118.htm>.
- United States Air Forces Statistical Digest 1955*. Washington, Office of Statistical Control, 1955.
- Ushakov, G. N., Kochetkov, L. A., Konochkin, V. G., etc. (1964) Opyt ekspluatatsii pervoi AES kak eksperimentalnoi ustanovki [The Experience of Operating the First Nuclear Power Plant as a Pilot Plant], *Atomnaia energiia*, vol. 17, no. 5, pp. 359–366.
- Vo imia mira i progressa. Otkrytie Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi vystavki po mirnomu ispol’zovaniiu atomnoi energii [In the Name of Peace and Progress. The

- Opening of the International Science and Technology Exhibition of Peaceful Uses of Nuclear Power] (1955), *Pravda*, August 8, no. 220, p. 3.
- Vol'kenshtein, V. S. (1985) *Sbornik zadach po obshchemu kursu fiziki. 11-e izd. [A Collection of Tasks for the Course in General Physics. 11th ed.]*. Moskva: Nauka, Glavnaia redaktsiia fiziko-matematicheskoi literatury.
- Voskresenskii, S. (2010) Pervyi raketno-iadernyi mekh [The First Nuclear-Missile Sword], *Tekhnika i vooruzhenie*, no. 7, pp. 31–34.
- Zasyupkin, Iu. V., Kostyrchenko, G. V., Kuz'min, Iu. V., Ostapenko, Iu. A., Simonov, A. A., and Sobolev, D. A. (2011) *Istoriia otechestvennoi aviapromyshlennosti [The History of National Aircraft Industry]*. Moskva: Rusavia.
- Zubrilina, A., and Ustinova, A. Pervaia v mire AES v Obninske stanovitsia pamiatnikom-muzeem [The World's First Nuclear Power Plant in Obninsk Becomes A Museum], <https://tass.ru/v-strane/4594279>.

Received: April 3, 2018.