

УДК 621.039.58

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ШКОЛА ДВУХФАЗНОЙ ГИДРАВЛИКИ (Из воспоминаний о первых шагах промышленной атомной энергетики России)

Букринский А.М., к.т.н., заслуженный энергетик России,  
ветеран атомной энергетики и промышленности

*Эта статья была написана более десяти лет тому назад для юбилейного сборника воспоминаний, который предполагался к изданию Белоярской АЭС. Однако по каким-то причинам этот сборник издан не был. По крайней мере, я ничего об этом не знаю. Сейчас, знакомясь с проектом реактора СВБР-100 с целью экспертизы ПООБ, я обнаружил, что опыт, описываемый в этой статье, может быть полезным для работы над данным проектом.*

Мне довелось участвовать в работах по наладке тепломеханического оборудования при пуске первого блока Белоярской атомной электростанции (БАЭС). В то время я работал во Всесоюзном теплотехническом институте им. Ф.Э. Дзержинского (ВТИ), который по инициативе Василия Ефимовича Дорошука, тогда главного инженера института, вносил свой вклад в развитие атомной энергетики Советского Союза. Учитывая огромный опыт работы института в области теплотехники, он с самого начала развития атомной энергетики привлекался для работ в этой области. Традиционно это были вопросы теплофизики, тепломеханического оборудования, водно-химического режима. Мне было поручено возглавить бригаду ВТИ и его челябинского филиала, выполнявших пусконаладочные работы на первом блоке БАЭС. Учитывая значительный объем возложенных на институт работ, я был включен в состав группы руководства пуском, которую возглавлял научный руководитель пуска Лев Алексеевич Кочетков.

Особенностью первого блока БАЭС являлось то, что во многих участках его контуров существо-

вало или возникало при определенных условиях двухфазное течение пароводяной смеси. Даже в настоящее время, спустя почти 35 лет после пуска первого блока БАЭС, режимы течения такой среды изучены крайне мало. Многие неожиданные сюрпризы, с которыми нам пришлось столкнуться во время пуска блока, были связаны именно с таким течением.

Но сначала хочется сказать несколько слов о людях, которые принимали участие в пусконаладочных работах на первом блоке БАЭС.

Прежде всего, мне хотелось бы с огромной теплотой вспомнить моего друга и заместителя по пусконаладочным работам на БАЭС Сережу Ермоленко, который возглавлял группу специалистов челябинского филиала ВТИ, принимавших участие в пуско-наладочных работах. К сожалению, он безвременно погиб в горах Кавказа во время одного из альпинистских восхождений. С ним мы много дней и ночей работали на блоке, проводя испытания, и его безвременная кончина стала тяжелой утратой для всего нашего коллектива.

От центрального института на БАЭС в пусконаладочных работах принимал участие Абрам Владимирович Ратнер. Он был ответственен за вибромеханическую устойчивость пароводяных коммуникаций реактора и за работу арматуры. Александр Акимович Кот отвечал за наладку водно-химических режимов первого и второго контуров, а также за химическую отмывку контуров перед пуском. В пусконаладочных работах принимал участие Борис Васильевич Дядякин и некоторые другие сотрудники центрального института. За челябинским филиалом ВТИ была закреплена наладка тепловой автоматики. Она осуществлялась под руководством Комарова Альвина Николаевича.

Работая на БАЭС, мы тесно сотрудничали с её персоналом и, прежде всего, с главным инженером станции Ивановым Борисом Георгиевичем и начальником производственно-технического отдела Гавриилом Александровичем Киреевым. Очень теплые воспоминания сохранились у меня о контактах с Алексеевым Михаилом Петровичем, заместителем начальника технологического цеха по реакторному оборудованию, и с Мурашевым Юрием Борисовичем, заместителем начальника технологического цеха по турбинному оборудованию. Впоследствии с Михаилом Петровичем Алексеевым мы встретились на совместной работе в системе Госатомэнергонадзора СССР.

Приехав впервые на БАЭС в 1962 году, я неожиданно встретился со своим институтским товарищем Альтшуллером Михаилом Александровичем, спустя 12 лет после окончания Московского авиационного института. Судьба распорядилась так, что вместо того, чтобы стать авиаторами, мы стали энергетиками. Михаил Александрович в то время выполнял функции главного технолога первого блока БАЭС от проектной организации – Ленинградского отделения института «Теплоэлектропроект», а я работал начальником лаборатории в ВТИ. В дальнейшем сотрудничество между нами было самым тесным.

Одним из первых сюрпризов, связанных с особенностями двухфазного течения, стало обнаружение мощных вибраций трубопровода сброса воды из барботера в деаэратор. Вибрации носили низкочастотный характер и сопровождалась мощными глухими ударами, при которых сотрясалась вся деаэраторная этажерка. Сбросной трубопровод большого диаметра состоял из трех участков достаточно большой протяженности – двух вертикаль-

ных и одного горизонтального между ними. Вода из барботера при параметрах насыщения, поднимаясь по сбросной трубе, частично превращалась в пар, в результате чего происходило образование пароводяной смеси. На горизонтальном участке трубопровода пароводяной поток расслаивался, что приводило к формированию пробкового течения. Мощные водяные снаряды на повороте от горизонтального к вертикальному участку создавали периодические импульсы. Анализ этой сложной картины течения показал, что вызывающие мощную вибрацию трубопровода импульсы не представляют особой опасности для самого трубопровода и требуют лишь его дополнительного раскрепления, что и было успешно реализовано.

Еще один серьезный казус, обусловленный образованием двухфазного течения, произошел при первом опробовании пусковых линий питательного узла второго контура. Поскольку никаких неожиданностей при испытаниях этого узла не предполагалось, то его испытания проводились в ночную смену. Однако наутро оказалось, что весь узел разрушен. Анализ работы этого узла показал, что на его регулирующем клапане срабатывался чрезмерно большой перепад давления. Это приводило к вскипанию воды с последующей конденсацией пара в зоне восстановления давления. Возникавшие при этом гидроудары на стенке трубы скоро привели к её полному разрушению. Этот случай был впоследствии описан в одном из номеров журнала «Теплоэнергетика» за 1965 год.

С мощными гидроударами нам пришлось еще раз столкнуться при испытаниях технологического конденсатора. В качестве такового на первом блоке БАЭС был применен серийный горизонтальный многоходовой водотрубный теплообменник. Пар второго контура направлялся в межтрубное пространство и конденсировался на трубках, по которым протекала охлаждающая вода. После накопления определенного количества конденсата часть трубного пучка затопливалась, а межходовые перегородки также оказывались подтопленными водой, в результате чего отдельные камеры ходов оказывались изолированными друг от друга гидрозатворами. Вода, омывающая часть трубного пучка, переохлаждалась и при конденсации в ней пара возникали мощные гидроудары. Испытания пришлось немедленно прекратить, а теплообменник полностью реконструировать. После того, как межходовые перегородки были ликвидированы, а теплообменник установлен вертикально, его работа нормализовалась.

Для двухфазных потоков пароводяной смеси характерно еще одно неприятное явление, которое может возникать в парогенерирующих каналах. Речь идет о гидродинамической неустойчивости потока, которая возникает при определенных условиях и с учетом нелинейности реальной системы приводит к низкочастотным автоколебаниям расхода и всех других связанных с ним параметров. На первом блоке БАЭС это произошло в самом неожиданном месте – в линиях подачи питательной воды в парогенераторы. Таких линий на первом блоке было четыре, по две на каждый барабан-испаритель. В каждой линии перед испарителями были последовательно установлены по два теплообменника для подогрева питательной воды. При этом во втором из них частично происходило парообразование. Таким образом, каждая из линий представляла собой не что иное, как парогенерирующий канал. Вот в этих то линиях и возникала гидродинамиче-

ская неустойчивость с низкочастотными колебаниями расходов большой амплитуды. Колебания расходов приводили к термокачкам, считавшимся опасными для трубопроводов.

Единственным известным в то время эффективным средством борьбы с такими колебаниями расхода было дросселирование потока на входе в парогенерирующий канал. Оно и было применено в данном случае. Правда, учитывая ограниченные возможности повышения гидравлического сопротивления линий подачи питательной воды, полностью ликвидировать колебания расходов в этих линиях не удалось. Однако оставшиеся небольшие колебания были признаны неопасными и с ними пришлось смириться.

Вот так закончилась двухфазная одиссея на первом промышленном энергоблоке БАЭС, оставившая неизгладимый след у всех её участников.

