

человечество не извлекает очевидные уроки из истории техногенных катастроф...

— Обобщающие выводы такого уровня — дело историков. Что же касается ВМФ России, то гибель К-278 — не первая в числе катастроф, зарождавшихся в кабинетах штабов командиров и командующих. Одна из них — гибель атомной подлодки Тихоокеанского флота К-429, отправленной в море в неисправном состоянии со сборным экипажем, «скомплектованным» начальником штаба флотилии контр-адмиралом О. А. Ерофеевым в течение одних суток из состава пяти (!) экипажей. Где уж тут говорить о сплыванности и готовности личного состава! Такие действия грубейшим образом попирают все писаные и неписаные правила и наставления. Это стоило жизни 16 подводникам. Но трибунал признал виновными и приговорил к длительным срокам тюремного заключения не вышестоящих начальников, а командира и старшего механика, умело организовавших спасение оставшихся в живых после аварии 104 моряков. Фамилия О. А. Ерофеева на суде вообще не прозвучала. Действительные причины катастрофы были тогда раскрыты, но виновные в трагедии уведены от ответственности (подробнее см.: Терешкин В. Е. Подводную лодку К-429 послали на смерть // Час пик. СПб. 1993. Июнь. №№ 24—26). Плохо, что подлинных виновники не были наказаны, но гораздо хуже то, что освобождение их от ответственности способствовало сокрытию истинных причин аварии, а стало быть — сделало возможным их повторение, что, к великому сожалению, и случилось.

— Истории катастроф К-429 и К-278 как будто написаны одним почерком. В обоих случаях нарушены установленные правила, приняты неоправданные решения, как бы подготовившие аварии и в конечном итоге повлекшие за собой гибель кораблей и людей. И в том и в другом случае сделаны попытки уйти от ответственности, скрыть действительные обстоятельства и от флота, и от правительства, и от общественности.

— К этому можно добавить, что командующим флотилией, в состав которой входил «Комсомолец» в описываемый период, был... О. А. Ерофеев, ныне — адмирал, командующий Северным флотом. В обоих случаях его увел от ответственности один и тот же вышестоящий начальник — бывший начальник штаба ВМФ, а затем командующий ВМФ В. Н. Чернавин, ныне — адмирал флота в отставке. Военные, как и все люди, имеют право на личную ошибку, если сами платят за нее. Командиры и командующие, распоряжающиеся сотнями и тысячами людских судеб, на ошибку, влекущую за собой гибель подчиненных в мирное время, права не имеют. Они должны отвечать за это перед законом. Военачальнику, совершившему такую ошибку и перекладывающему собственную вину на подчиненных, — не место в Вооруженных Силах России!

— Повторяемость «случайных» техногенных катастроф по укорененным в социальной действительности «человеческим»



Е. Д. Чернов на палубе атомной подводной лодки в районе Северного полюса.
Фото середины 80-х гг.

причинам требует не только глубокого анализа в каждом отдельном случае, но и выработки общих мер по их предупреждению. Одним совершенствованием техники эту задачу не решить. Что, по Вашему мнению, можно было бы сделать в этом направлении уже сегодня? Чему учит история техногенных катастроф?

— Не терпит отлагательства создание надежной юридической базы эксплуатации особо сложных и ответственных технических систем. До сих пор ответственность эксплуатационников — от оператора человеко-машинной системы до высшего должностного лица, организатора и руководителя технической деятельности — определяется, главным образом, подзаконными актами — ведомственными нормативными документами, а не Законом. В условиях, когда нравственность и мораль ослаблены и не выполняют должным образом роль «закона внутри нас», необходимо закрепить правовой статус более жестких норм личной ответственности за результаты служебной деятельности, особенно — за тяжелые, повлекшие человеческие жертвы и наносящие значительный материальный ущерб последствия некомпетентности, волонтеризма, ненадлежащего выполнения прямых служебных обязанностей, нарушения технологической дисциплины. Наверное, следует разработать международные правовые нормы ответственности государств за контроль над технологической деятельностью и эксплуатацией технических средств. А если говорить о конкретной области техники, военных технических системах, то здесь явно назрело серьезное обсуждение сложившейся ситуации и разработка широкого комплекса дополнительных мероприятий по защите человеческих жизней и обеспечению безопасности военной службы в Вооруженных Силах Российской Федерации.

— Можно ли считать теперь, что выяснены все обстоятельства катастрофы «Комсомольца» и названы виновные?

— Следствие продолжается...

Беседа вел Б. И. Козлов

У истоков советского атомного проекта: к истории Федерального научного центра «Арзамас-16»

Л. П. ГОЛЕУСОВА

«АРЗАМАС-16»: КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ...*

Первый ядерный объект в СССР возник как конструкторское бюро при Лаборатории № 2 Академии наук. Номерное его обозначение было одиннадцать. Итак, КБ-11... Наряду с этим существовали и многие другие кодовые наименования объекта — «база 112», «Приволжская контора Главгостроя СССР», серия почтовых ящиков — № 49, № 51, № 214, № 975...

Такое обилие названий вводилось намеренно, с целью обеспечения полной территориальной анонимности ядерного центра. И, надо признать, что делалось это безуспешно в течение довольно длительного времени.

Начало строительству объекта было положено закрытым постановлением Совета Министров СССР № 806-327 от 8 апреля 1946 г. Задача организации формулировалась предельно четко и конкретно — создание «изделия», то есть атомной бомбы. Руководить этим предстояло двум людям: начальником КБ-11 был назначен Павел Михайлович Зернов, главным конструктором — Юлий Борисович Харитон.

Принципиальному решению о формировании научно-исследовательской и опытно-конструкторской базы для разработки и производства первых образцов атомного оружия предшествовало обсуждение в ПГУ вопроса о ее месторасположении. Оно должно было отвечать ряду необходимых для подобного дела требований — максимальная закрытость и секретность, малонаселенность округа и, одновременно, близость к Москве, где находилась головная в то время организация, Лаборатория № 2, и откуда осуществлялось все руководство атомным проектом. Хотелось бы также, чтобы там, где должен был возникнуть ядерный центр, существовала какая-то первоначальная, пусть и незначительная, материально-техническая и энергетическая база.

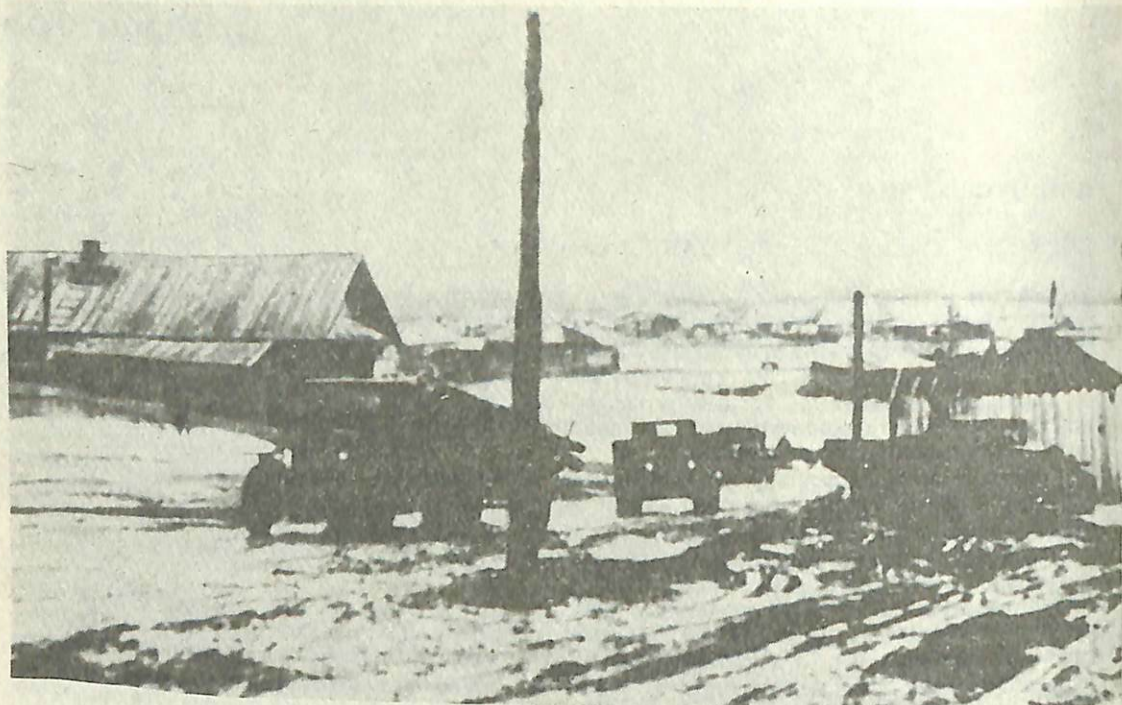
Трехмесячные поиски подходящего места не привели ни к чему. Соответствующего всем параметрам «медвежьего угла» в центре России найти никак не могли.

Начальник ПГУ Б. Л. Ванников, памятуя о предприятиях, подчинявшихся его «родному» Наркомату боеприпасов, настойчиво предлагал обратить внимание на затерянный в глухих лесах, на «стыке» южных районов Горьковской области и тогдашней Мордовской АССР, завод № 550, производивший в годы войны корпуса снарядов для знаменитых «Катюш». Находился он в поселке Саров, бывшем когда-то благодаря здешнему монастырю одним из центров православия в России.

К тому времени, когда решался вопрос о размещении здесь ядерного объекта, многое там изменилось, много видели и пережили стены монастыря. Свое официальное существование Саровский монастырь прекратил в 1927 г. Владельцем всех здешних строений стало Нижегородское НКВД. В 1928—1931 гг. поселок был занят борьбой новой власти с беспризорщиной, охватившей страну после гражданской войны. Потом пришел черед трудовых исправительных лагерей для подростков и взрослых. А с 1938 г. завязывается ниточка связи Сарова с нуждами обороны страны. На базе маленького предприятия по производству спортивного инвентаря, построенного здесь силами заключенных ИТЛ, было решено организовать машиностроительный завод. Время было грозное, предвоенное, и подобные небольшие заводи были предназначены для обеспечения «тылов» промышленных гигантов оборонного комплекса комплектующими изделиями.

Уже в 1940 г. корпуса тяжелых снарядов калибра 152 мм пошли из Сарова в Горький. В 1941 г. Саровский машиностроительный завод был передан в ведение вновь образованного Наркомата боеприпасов и получил номерное обозначение — 550.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта: 93-06-10331). Фотоиллюстрации подготовлены В. И. Лукьяновым (РФЯЦ-ВНИИЭФ).



В этом бездорожье рождался ядерный центр. 1946 г.

За годы войны, освоив производство деталей к снарядам М-13 для реактивных минометов, саровские машиностроители отправили на горьковское «Красное Сормово» около 400 тыс. корпусов для этих снарядов. После войны судьба завода стала проблематичной.

Приказ о прекращении производства боеприпасов в сентябре 1945 г. был получен, а распоряжений относительно того, что же делать дальше, из Центра не поступало. Вот тут и подоспело решение о создании на базе завода № 550 ядерного центра. Последовало оно после посещения рабочего поселка П. М. Зерновым и Ю. Б. Харитоном в апреле 1946 г.

Так определилась та реальность, которой ныне является Саров — «Арзамас-16». С одной стороны, всеми признанный исторический центр православия, с другой — первый атомный город России, где закладывались основы отечественного военно-оборонного могущества.

19 апреля 1946 г. приказом Б. Л. Ванникова № 090 завод № 550 со всем своим несложным оборудованием, зданиями и кадрами был передан в ведение Стройуправления № 880 МВД СССР, специально созданной для строительства ядерного объекта организации, использовавшей в основном труд заключенных ГУЛАГа.

В соответствии с постановлением Спецкомитета от 18 мая 1946 г. № 21 ПГУ представило в Совет Министров СССР проект плана о развертывании работ КБ-11. Проект получил сталинскую подпись, и 21 июня 1946 г. СМ СССР принял постановление № 1286-525 о строительстве КБ-11. Сроки решения поставленной задачи были крайне сжатыми. Первая очередь объекта должна была войти в строй 1 октября 1946 г., вторая — 1 мая 1947 г. Начальный объем капитальных вложений предусматривался в сумме 30 млн. рублей.

Началась грандиозная стройка, в истории которой было многое — передача земель Мордовского заповедника и части территории Горьковской области в распоряжение атомного центра, отселение некоторых «аборигенов» (502 человека), «не подходивших», по мнению спецслужб, для проживания в зоне объекта, настоящая «битва» за пуск в эксплуатацию производственных сооружений, острейший жилищный «голод», из-за которого сразу же возникли серьезные трудности в «приобретении» необходимых для запланированных работ специалистов...

Многое из происходившего здесь заслуживает отдельного рассмотрения и исторического освещения. Обратимся только к двум из многих других неизвестных широкому читателю страниц этой эпопеи, которые непосредственно не связаны с производственными аспектами осуществления атомного проекта.



Первые сотрудники ядерного объекта едут на испытательную площадку

Одна из них касается сложных взаимосвязей ядерного объекта и заключенных, его строивших. Вторая — оформления Сарова в абсолютно закрытую, секретную, автономно существующую зону.

Первая партия заключенных была этапирована на объект в мае 1946 г. Уже в начале следующего года общее количество «спецконтингента» (так называли заключенных во всех документах) составило внушительную цифру — 9737 человек, в том числе 1818 женщин. Начиная с лета 1947 г., приток «новобранцев» в лагеря, расположенные на территории объекта, начал нарастать — сверхжесткие сроки строительства КБ-11 требовали все новых и новых рабочих рук. Кто были эти люди?

Степень их виновности перед обществом была разной. Некоторые оказались в заключении по печально известной 58-й статье, другие были осуждены за уголовные преступления: с ними на ядерном объекте возникли немалые сложности.

Заключенные, отбыв свои сроки, как правило, оставались на объекте уже в качестве вольнонаемных строителей. Первый сигнал тревоги по этому поводу прозвучал в письме начальника объекта № 550 П. М. Зернова Берии в июне 1948 г. Речь шла о необходимости «выпустить» из зоны объекта 200 бывших заключенных-уголовников. Ответа на это письмо не последовало. В августе того же года Зернов вновь обращается к Берии с тем же вопросом. Положение к этому времени усугубилось в связи с тем, что 2 и 31 мая 1948 г. были приняты Указы Президиума Верховного Совета СССР, согласно которым к концу лета из Саровских лагерей было освобождено по амнистии 1500 человек и по отбытии срока — 722 человека. Из этого общего числа около 1700 бывших зеков было оставлено в зоне объекта на правах вольнонаемных строителей.

Почему сложилось такое положение? Дело в том, что ведомство Берии приняло ряд обязательных для выполнения распоряжений, которые делали освобождение заключенных из лагерей, расположенных на территории ядерного объекта, фактически формальным. Иными словами, освободить — освободили, но выехать с объекта не позволили.

Ситуация приняла критический характер: на объекте, где уже всюду велись не только секретные, но и особо опасные работы, присутствовало много агрессивно настроенных, озлобленных и обездоленных судьбой людей, которые не получили законного права покинуть то место, где еще вчера они были подневольной и безликой массой. Жилья у них не было (и для сотрудников КБ-11 его не хватало), льгот по питанию и снабжению, в отличие от «закон-



Научный руководитель «Арзамас-16»
в 1946—1993 гг. академик Ю. Б. Харитон.



Первый директор КБ-11 П. М. Зернов

ных» жителей объекта, они были лишены, за работу им платили гроши. Немудрено, что многие воровали, покушались не только на собственность, но и на жизнь «полноправных» граждан объекта.

После августовского послания Зернова Берии положение ничуть не изменилось. Правда, Берия распорядился рассмотреть возможность удаления бывших заключенных с территории КБ-11. Но это рассмотрение с его ведома или без него явно затянулось. Тем временем П. М. Зернов меняет адресата своих просьб. В ноябре 1948 г. он обращается к М. Г. Первухину. Но и это не помогло. Тяжелая аппаратная машина никак не могла повернуть свои шестеренки и выдать какое-то решение. Может быть, дело было вовсе не в бюрократической волоките (вряд ли она распространялась на столь важный объект), а в намеренном желании «не пущать», ибо в этом случае отпадала необходимость решать вопрос о дополнительном контингенте строителей. Нехватку кадров строившийся ядерный центр испытывал постоянно. Поэтому и замыслили обойтись «малой кровью»...

Однако простых решений в подобной проблеме быть не могло. Появились новые «нюансы»... Письма от руководителей КБ-11 в Центр (Берии, Абакумову, Круглову) множилось, нарастая лавиной. В одном из них говорилось, что на 1 декабря 1948 г. в зоне объекта на 4500 человек взрослого населения — 1750 бывших заключенных, примерно половина из которых на строительстве не работает.

Переписка по ставшему острейшим для нормальной жизни ядерного объекта вопросу продолжалась в течение всего 1949 г. и в следующем, 1950-м. Теперь писали в адрес секретаря ЦК ВКП(б) Г. М. Маленкова. Между тем криминогенная обстановка становилась все напряженной. Дело дошло до того, что жители Сарова стали бояться выходить в темное время на улицу.

Из писем-документов ясно, что руководство МГБ и МВД пыталось оправдать невозможность решения проблемы важностью сохранения государственной тайны. Для руководителей КБ-11 это был неубедительный аргумент, т. к. некоторых заключенных после освобождения все-таки выпускали на «Большую Землю». Правда, были они или инвалидами, или многодетными. Но ясно, что как те, так и другие могли разгласить тайну ядерного объекта ничуть не хуже, чем, к примеру, вполне здоровые. Так что причина фактически насильственного удержания в зоне объекта большинства бывших зеков была иной. И перестала она существовать только после смерти Сталина в 1953 г. Хотя еще 14 июля 1949 г. Совет Министров принял постановление об удалении отбывших заключение в ИТЛ за пределы ядерного объекта, процесс этот шел вяло до тех пор, пока сами лагеря ГУЛАГа оставались в Сарове. Только через четыре года последний из них был этапирован в другие «не столь отдаленные» места —

Магадан, Коми АССР. Так, наконец, была перевернута лагерная страница истории первого ядерного центра страны.

Если бы не эта, специфически отечественная сторона, система режимной охраны объекта складывалась бы в Арзамасе-16 примерно так же, как в любой другой стране, желающей защитить свои секреты.

По мере роста объекта самым насущным становился вопрос об охране обозначенной территории. Характер и цели научно-производственной деятельности, ведущейся здесь, подлежали полному засекречиванию. 17 февраля 1947 г. постановлением Совета Министров СССР № 297-130, подписанным И. В. Сталиным, КБ-11 было отнесено к особо секретным режимным предприятиям с превращением его территории в закрытую зону. Обеспечить это было не так-то просто.

Внутри предполагавшейся зоны объекта находились семь населенных пунктов, где обитали 9,5 тыс. местных старожилов. К району зоны с разных направлений подходили 17 проселочных и грунтовых дорог и одна узкоколейка. Мощный лесной массив, окружавший Саров, не имел даже просек. Несмотря на разрушенность монастыря и потерю им своего прямого назначения, эти места традиционно считались святыми, и сюда, особенно по православным праздникам, продолжалось паломничество верующих.

Предстояло оградить и полностью закрыть от любых несанкционированных проникновений огромную территорию в форме шестиугольника с общим периметром 56,4 км. Причем колючая проволока и следовые полосы должны были отрезать от «Большой земли» не только производственную, но и жилую зону объекта.

Форсированные работы по созданию заградительных рубежей ядерного объекта развернулись с лета 1947 г. Почти непроходимый лес был прорежен просеками шириной 25 м, началось возведение общего ограждения, сторожевых вышек, контрольно-пропускных пунктов. Свободный проход на объект был полностью закрыт, остались четыре «легальных» входа-выхода через КПП. Все дороги, ранее существовавшие, были наглухо перекрыты. Частоклад запретительных уведомлений типа «Закрытая зона» или «Тупик» возник везде, где можно было подойти к территории бывшего Саровского монастыря. В 1948 г. строительство оградительной зоны было завершено, и обошлось это в более чем 6 млн. рублей по ценам 1945 г.

В 1947 г. поселок Саров был изъят из административного подчинения Мордовской АССР и исключен из всех учетных материалов. 17 июля того же года было принято специальное постановление Президиума Верховного Совета РСФСР и вышел Указ, которыми было прекращено юридическое существование поселка Сарова. Отныне он стал лишь ведомственным жилищным фондом КБ-11 и Стройуправления № 880.

Так была подведена, можно сказать, черта под прежним бытием этих старинных мест. Поселка уже не стало (П. Я. Мешик особым распоряжением строжайше запретил даже упоминать прежнее название — Саров), но города еще не было. Было анонимное поселение — то ли контора, то ли база, то ли почтовый ящик, — обреченное на долгие годы быть «невидимкой» не только для заграницы, но и для собственных соотечественников. А в центре него под неусыпным и тотальным контролем, обеспеченным усилиями спецслужб, закладывалось производство, призванное дать гарантии безопасности страны в условиях мирового противостояния. Сверхзадача создания нового оружия дополнялась еще одной — наша атомная бомба должна была стать полной неожиданностью для Запада, особенно для США, которые пребывали в эйфории от собственной монополии на супербомбу.

Ядерный центр, родившись как объект-предприятие, постепенно приобретал черты объекта-города. В ходе этого процесса он получал и новые названия. Самым первым, но не состоявшимся по невыясненным причинам, было — Ясногорск. Потом — Кремлев, применение которого не вышло за рамки разного рода документов. Наконец, остановились на использовании имени недалеко расположенного Арзамаса, прибавив к нему цифровое обозначение. Вначале был Арзамас-75. Величина «добавки» имела объективное основание — объект находился в 75 км от Арзамаса. Затем «75» сменили на «16». Почему именно эта цифра привлекла внимание спецслужб, никому неизвестно. Многие считают, что она была выбрана совершенно произвольно. Главное было — создать видимость, что объекта вовсе нет, а есть одно из почтовых отделений в старинном русском городе Арзамасе. Поскольку городок этот небольшой, то и почтовых отделений там не должно было быть много. Вот и выбрали цифру из второй десятки.

Как бы там ни было, но именно с этим названием — «Арзамас-16» — ядерный центр страны вышел на арену всемирной гласности и относительной доступности.

Первоначальный план работы КБ-11 предусматривал создание атомной бомбы в двух вариантах — плутониевой с использованием сферического обжатия и урановой-235 с пушечным сближением. Наземный взрыв первой должен был состояться до 1 января, а урановой до 1 июня 1948 г. Эти сроки свидетельствуют о том, что в то время, когда делались первые шаги



Успенский собор Саровского монастыря (разрушен в 1951 г.)

в работе над атомным проектом, ни сами его исполнители, ни руководители программы до конца не понимали всей сложности создания научно-экспериментальной и производственной базы для нового оружия. Однако осознание этого пришло довольно быстро, и прежде всего в связи с невыполнением плана самого строительства ядерного объекта.

Осенью 1946 г. стало ясно, что сроки строительства первой очереди центра сорваны. Крайне неблагоприятным было положение с жильем, без ввода которого невозможно было привезти кадры специалистов, и, соответственно, развернуть полномасштабные научно-экспериментальные работы. Сказывались объективные трудности, естественные для послевоенного периода. Определенные осложнения возникли и во взаимоотношениях между подрядчиком строительства, Стройуправлением № 880, и заказчиком — КБ-11. Руководство управления, подчиняясь своему ведомству, не особенно прислушивалось к мнению заказчика. П. М. Зернов в сердцах пишет Б. Л. Ванникову, что более глупого положения, чем у начальника объекта, трудно себе представить: отвечает за все, а требовать не имеет возможности. «Давить» на СУ-880 было непросто — за ним стоял «монолит» МВД СССР.

Всесильное в ту пору ведомство сумело доказать в правительстве нереальность сроков ввода в действие первой очереди КБ-11. 24 марта 1947 г. было принято постановление Совета Министров СССР № 652-227, по которому «финишная ленточка» строительства была перемещена: по первой очереди — на апрель, по второй — на сентябрь 1947 г. Выполнение программы по новому регламенту подкреплялось усилением централизованного контроля за ходом строительства. Уполномоченным Совета Министров СССР по делам ядерного центра



Храм Живоносного источника Саровского монастыря (разрушен в начале 50-х гг.)

был назначен молодой, энергичный и предприимчивый генерал МГБ Н. И. Павлов, обладавший незаурядным организаторским талантом и высокой работоспособностью.

Активизация деятельности «сверху» и «снизу» дала свои плоды. В январе 1947 г. был сдан в строй ряд производственных зданий КБ-11, вслед за этим — здания под лабораторные корпуса и казематы для проведения опытных работ. Оформился «костяк» первого опытного завода ядерного центра, а вскоре — и второго завода. После сдачи в эксплуатацию реконструированной ТЭС окрепла энергетическая база объекта. Если за 1946 г. стоимость введенных в действие производственных сооружений составляла всего 18 млн. рублей, то за 1947 г. — 62 млн. (в ценах 1945 г.).

По-настоящему переломным в истории строительства ядерного центра стал 1948 г., в течение которого была сформирована добротная основа как для дальнейшего развертывания производственного строительства, так и для создания жилищной, социально-культурной, коммунально-бытовой, торговой и медицинской инфраструктуры города-объекта.

За период с 1946 по 1950 гг. было построено и реконструировано в общей сложности более 350 зданий и сооружений, проведен огромный объем дорожных работ, обустройство жилой и производственной территорий объекта. Основные производственные средства КБ-11 выросли в 4,3 раза, причем по оборудованию — в 6,5 раз. Расходы на приобретение материалов увеличились десятикратно. Стартовые позиции материально-технического обеспечения разработки и производства атомного оружия были созданы. В еще совсем недавно глухих местах, где царило бездорожье, где не было ни водопровода, ни канализации, ни телефона, родился новый город. Старый патриархальный пейзаж Сарова уступал место этому новому не без серьезных потерь. К их числу можно отнести уничтожение двух прекрасных по архитектуре и значимых по исторической ценности зданий бывшего Саровского монастыря — Успенского собора и храма Живоносного источника.

По поводу первого из них в архиве Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (ВНИИЭФ) сохранились документы — переписка руководства объекта с Центром, в которой начальник КБ-11 А. С. Александров (он сменил на этой должности ушедшего на работу в ПГУ П. М. Зернова) объясняет необходимость сноса здания церкви.



Колокольня Саровского монастыря

В то время объяснения эти выглядели довольно убедительно (южная стена собора дала вертикальную трещину снизу доверху, что в условиях систематически проводящихся на объекте взрывных работ могло привести к непредсказуемым последствиям), но сегодня они вызывают сомнения. Вроде бы и трещины никто не видел, и в документах, отсылаемых по этому поводу из КБ-11 в ПГУ, речь шла не о проведении серьезной экспертизы прочности здания, а о присылке подрывников. Действительно, знакомство с архивными материалами создает впечатление, что вопрос этот был уже решен. Оставалось лишь получить формальную санкцию.

Она не заставила себя ждать, и в 1951 г. Успенский собор, который в свое время считался жемчужиной Саровского монастыря, перестал существовать. А вскоре после этого направленным взрывом был разрушен храм Живоносного источника.

После этих событий начала 50-х гг., нанеших невосполнимый урон облику города-объекта, предпринимались неоднократные попытки дальнейших «обновлений». Одна из них была связана с башней-колокольней бывшего монастыря. На этот раз варварство было остановлено благодаря новому директору КБ-11 Б. Г. Музрукову. Он использовал всю свою власть и влияние, чтобы отстоять колокольню, несмотря на сильное давление сторонников ее разрушения. Теперь главным их мотивом стали соображения секретности — башня-де слишком высока (81 м), видна с самолетов, четко обозначает месторасположение объекта и т. п.

Но обошлось... Колокольню сберегли, секретность сохранили, а городу-объекту оставили на память его символ, «визитную карточку». На фотографиях «Арзамаса-16» башня-колокольня как бы представляет ядерный центр. Жизнь еще раз доказала, что сохраненное прошлое облагораживает настоящее и дает надежду на будущее. И это касается, разумеется, не только памятников материальной культуры, но и истории людей. Но это уже тема другого повествования.

При подготовке публикации были использованы следующие материалы:

1. Отдел фондов научно-технической документации ВНИИЭФ (ОФНТД ВНИИЭФ). Ф. 1. Оп. 1. Ед. хр. 2, 11, 12, 17, 20, 24, 38, 73, 121, 140, 148, 178, 218, 223, 249, 285, 414, 1708, 2157, 3810; Ф. 5. Оп. 1. Ед. хр. 1, 2, 5, 13, 29, 50.

2. ОФНТД ВНИИЭФ. Инв. № 4428.
3. Личный архив Н. А. Петрова, переданный Лаборатории исторических исследований РФЯЦ-ВНИИЭФ.
4. Стенограммы выступлений участников Конференции по истории разработок первых образцов атомного оружия. Арзамас-16, 1992 г.
5. Материалы по истории развития атомной промышленности СССР. Ч. 15. Т. 2. Кн. 1. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1982 г.

В. Е. КОНДРАШОВ, И. Д. СОФРОНОВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЯДЕРНЫХ ЗАРЯДОВ*

Вводные замечания

Первой публикацией, в которой для широких читательских кругов достаточно обстоятельно излагается история создания американской атомной бомбы, была книга руководителя Манхэттенского проекта генерала Гровса, изданная в начале 1960-х гг., и уже в ней кратко упоминается о роли расчетов для обоснования работы зарядов. За прошедшее с тех пор время появилось много публикаций мемуарного, научного и даже технического характера по истории создания ядерного оружия как в США, так и в СССР, но, пожалуй, ни в одной из них роль математических методов и основанных на них расчетов не получила должного освещения.

Математические расчеты при создании атомного оружия играют особую роль. В авиации, судостроении и многих других отраслях техники велика роль лабораторного моделирования, неоценимую пользу дают испытания опытных образцов. При работе ядерных зарядов реализуются такие физические условия, когда у разработчиков нет возможности увидеть детали работы конструкций, а также изучить отработавшие узлы и устройства. Натурные испытания дают только некоторые интегральные характеристики, а весь сложный и многоэтапный процесс взрыва моделируется только математическими расчетами.

К созданию физических и математических моделей работы ядерных устройств как у нас, так и за рубежом привлекались очень многие выдающиеся ученые: физики, математики, программисты, экспериментаторы. Само появление электронно-вычислительных машин связано в первую очередь с нуждами атомной промышленности. Многие годы именно в атомную промышленность направлялись самые новые, самые совершенные образцы вычислительной техники. Задачи атомной промышленности до сих пор являются ориентиром для конструкторов современных ЭВМ.

В атомной промышленности большая часть постановок математических задач проистекала из нужд разработчиков новых конструкций. В частности, математики были призваны решать те задачи, которые возникали у разработчиков зарядов — физиков**. Поэтому здесь внешне было меньше споров об альтернативных направлениях научных исследований, однако это не означает, что тут было меньше драматических ситуаций в противостоянии идей и научных направлений. Примечательно, что многие выдающиеся математики, которые в молодости прошли школу в атомной промышленности, затем возглавили научные направления, получившие признание в иных отраслях знаний, в других научных центрах.

Разработка атомного оружия в СССР явилась мощным толчком для развития всей науки в стране. В особенности это касается физики и вычислительной математики.

Следует вспомнить, что советские и американские математики работали в различных условиях. По ряду причин советская вычислительная техника развивалась медленнее, чем американская. Однако разработчикам оружия приходилось решать одинаковые задачи. Поэтому советские математики постоянно были вынуждены изыскивать способы, как компенсировать отставание в вычислительной технике. Это достигалось в первую очередь разработкой более экономичных алгоритмов, более совершенной технологией использования вычислительной техники, привлечением к работе большего количества математиков и т. д.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта: 93-06-10331).

** Здесь и далее «физики» — это только непосредственные разработчики зарядов.

Ниже кратко освещаются некоторые организационные, технические и научные аспекты развития вычислительного дела в советских ядерных центрах «Арзамас-16» и «Челябинск-70», которые, на наш взгляд, будут интересны достаточно широкому кругу читателей и в то же время никак не могут рассматриваться в качестве секретных сведений, могущих помочь кому-либо в создании собственных ядерных зарядов. Более подробное изложение ряда этих вопросов можно найти в публикациях [1] и [2].

Организационные аспекты

Как известно, главный советский центр по разработке ядерного оружия начал создаваться в «Арзамасе-16» с 1946 г., но математическое отделение было организационно выделено как расчетно-теоретическое лишь в мае 1952 г. и первое время оставалось сравнительно небольшим из-за скудности технической базы. Постепенно в нем стали образовываться тематические (по типам задач) и технические (по обслуживанию вычислительной техники) отделы. Позднее возникли подразделения, занимавшиеся вопросами системного программирования и информационного обеспечения. К середине 1970-х гг. математическое отделение представляло собой вполне современный вычислительный центр, хорошо структурированный и достаточно оснащенный технически.

Второй советский ядерный центр «Челябинск-70» начал создаваться в 1955 г. Он укомплектовывался кадрами в основном из арзамасского института, и математическое отделение было образовано там сразу же. С тех пор оба отделения развивались в тесном взаимодействии и конкуренции, занимаясь примерно одними и теми же проблемами, но первое несколько превосходило второе по потенциалу и технической оснащенности.

С начала 1970-х гг. начинают создаваться математические отделы в других отделениях обоих институтов (у экспериментаторов, конструкторов и т. д.). Основная причина этого заключалась в том, что специальные математические отделения занимались главным образом расчетами зарядов по заданиям физиков и не могли должным образом помогать другим отделениям в решении их задач. В такие отделы не всегда удавалось сразу подобрать квалифицированных специалистов, и поэтому уровень их работы был обычно ниже, чем в основных математических отделениях, хотя их техническая оснащенность была иногда вполне приемлемой. В настоящее время суммарный научно-технический потенциал этих отделов существенно меньше, чем в математических отделениях, и вряд ли они сблизятся по уровню в обозримом будущем.

В арзамасском институте основными источниками кадров у математиков были математические факультеты Московского и Ленинградского университетов, выпускники которых всегда составляли костяк коллектива ведущих специалистов. Были там и выпускники Московских инженерно-физического (МИФИ) и физико-технического (МФТИ) институтов, целого ряда провинциальных университетов. Аспирантов брали на работу сравнительно редко, так как они, получив чисто математическую подготовку, обычно труднее приспосабливались к вычислительной математике и программированию. А когда ВУЗы начали выпускать аспирантов по этим специальностям, в отделении уже была своя аспирантура. Крайне редко приглашались на работу и сложившиеся ученые-математики. Наоборот, немало таких специалистов ушло в другие вычислительные центры и университеты страны, в особенности из челябинского института. Большое влияние на формирование коллектива челябинских математиков оказал Н. Н. Яненко, который до 1964 г. был его научным руководителем.

Персонал по обслуживанию ЭВМ комплектовался в основном из выпускников факультетов электротехнического и радиотехнического профилей.

В самом начале освоение математических методов для нужд разработчиков ядерных зарядов было предложено расчетным группам Л. Д. Ландау в Москве и Л. В. Канторовича в Ленинграде, но довольно быстро эти работы перешли в отделение прикладной математики московского Математического института АН СССР (ныне ИПМ РАН), возглавлявшегося М. В. Келдышем, и уже отсюда постепенно начали переноситься в «Арзамас-16», где ими руководили Н. Н. Боголюбов и В. С. Владимиров. В 1950-е гг. сотрудники М. В. Келдыша принимали активное участие в атомном проекте, но уже в 1960-е гг. это участие постепенно уменьшается как из-за расширения тематики Отделения прикладной математики, преобразованного в самостоятельный институт, так и в результате укрепления математических отделений в «Арзамасе-16» и «Челябинске-70».

Помимо обмена научно-техническими отчетами, а иногда — программами, сотрудничество между всеми тремя институтами осуществлялось в виде регулярных конференций с интервалами в полтора-два года. В 1978 г. был создан свой математический журнал — «Вопросы атомной науки и техники. Серия „Математическое моделирование физических процессов“».

Сначала все работы по ядерному оружию были засекречены, но уже в 1960-е гг. была разрешена публикация большей части чисто математических исследований, а затем был снят гриф секретности почти со всех прикладных программ. Таким образом, секретными оставались, по сути дела, только сами расчеты.

Машинное время в арзамасском институте было крайне дефицитным, и для плановых расчетов оно распределялось руководством института с учетом требований физиков (примерно 80% всего времени), остальное шло на методические расчеты, то есть на разработку новых программ и методик, и распределялось руководством математического отделения. В челябинском институте эта проблема обычно не стояла так остро, но в периоды подготовки к большим сериям испытаний было трудно везде. В конце 1980-х гг. острота этой проблемы значительно снизилась в связи с сокращением испытаний на полигонах.

Руководство Министерства среднего машиностроения СССР (ныне — Минатом РФ), а также арзамасского и челябинского институтов обычно уделяло достаточное внимание развитию обоих математических отделений (заявки на разработку новых больших ЭВМ, обеспечение их поставки, строительство новых промышленных зданий, обеспечение кадрами и т. д.). Иногда возникали разногласия между математиками и основными заказчиками расчетов — физиками, но спорные вопросы носили, как правило, организационный характер.

Эволюция вычислительной базы

До 1957 г. для вычислений применялись механические и электромеханические арифмометры, оставшиеся в обиходе до начала 1970-х гг., пока не появились первые электронные калькуляторы. Поэтому первые расчеты, производившиеся на таких арифмометрах, требовали от математиков большого напряжения и были, что называется, на вес золота.

Первая из поступивших в арзамасский институт ламповых ЭВМ («Стрела», 1957) была трехадресной, имела оперативную память 2048 шестибайтовых слов, быстродействие 2 тыс. оп/сек. и внешнюю память на магнитных лентах. На ней можно было считать достаточно содержательные одномерные* задачи газодинамики с теплопроводностью, но для счета нейтронных задач она была мало пригодной. Большое значение этой ЭВМ состояло и в том, что на ней были сосчитаны первые двумерные газодинамические задачи. На ней математики учились создавать приближенные методы решения задач математической физики и овладевали программированием в кодах, которое на два десятилетия (до середины 1970-х гг.) стало главным средством для написания больших программ.

Следующая ламповая ЭВМ (М-20, 1959) и аналогичные ей по производительности полупроводниковые модели (1965) позволили по-настоящему освоить одномерные задачи, включая нейтронные расчеты, и приступить к разработке двумерных методик для решения задач газодинамики с теплопроводностью. Эти ЭВМ, которые использовались вплоть до 1976 г., были трехадресными, имели 4—16 тыс. шестибайтовых слов оперативной памяти, быстродействие около 20 тыс. оп/сек., внешнюю память на магнитных барабанах и лентах.

Чтобы ускорить написание больших кодовых программ для этих машин, применялись самые различные способы. Один из них состоял в том, чтобы получить первый вариант программы с помощью транслятора с языка АЛГОЛ-60, разработанного еще в 1963 г., а затем сильно сократить ее вручную, используя более сложные неарифметические команды и по возможности не меняя выданного транслятором распределения памяти или сдвигая его как единое целое.

Надежность работы ламповых ЭВМ была невысокой: каждые несколько минут приходилось делать второй просчет, а при несовпадении его с первым делался третий просчет, и в случае его несовпадения ни с одним из первых двух начиналась проверка ЭВМ тестами и другими средствами. Для каждого типа задач подбиралось свое характерное время просчета, так как они по-разному использовали машину. Много хлопот доставлял запуск ЭВМ после ее включения.

Эксплуатация первых ЭВМ требовала больших усилий от технического персонала не только из-за низкой надежности их работы, но и по причине серьезных недостатков в их конструкции (например, у них не было совместимости по магнитным головкам, что создавало много неудобств при работе с магнитными лентами). Технические специалисты постепенно не только устраняли эти недостатки, но делали и свои собственные разработки. Так, в 1967 г.

* Здесь и далее размерность относится к пространственным разрезам. Для зарядов одномерные задачи — это прежде всего расчеты изменений по радиусу в сферически симметричных конструкциях, в зависимости от времени; двумерные задачи — это, главным образом, расчеты изменений по времени в плоском сечении цилиндрически симметричных конструкций; в трехмерных задачах ограничений на геометрию конструкций нет.

они сделали первые в СССР цветные рулонные графопостроители, которые потом долгие годы использовались в наших «оружейных» институтах. Еще раньше было разработано быстродействующее читающее устройство для ввода перфокарт (1000 перфокарт в минуту), позволившее свести к минимуму потери времени ЭВМ при вводе информации. Несмотря на возникшую в 1970-е гг. большую разнотипность ЭВМ, в обоих отделениях была создана единая вычислительная сеть, позволявшая каждому пользователю управлять счетом своих задач сначала с телетайпа, а затем с дисплея, пока что, к сожалению, монохроматического и текстового. Одной из компонент этой сети является общая система ввода-вывода. Много усилий было затрачено также на создание архивов на лентах и дисках. Для программной поддержки таких разработок в математических отделениях были созданы отделы системного программирования.

С 1967 г. на длительное время основные вычислительные мощности реализуются на одноадресных полупроводниковых ЭВМ БЭСМ-6, имевших 32 тыс. шестибайтовых слов оперативной памяти, быстродействие 1 млн. оп./сек. и внешнюю память на барабанах и лентах (диски в заводских поставках появились значительно позже). БЭСМ-6 первой из советских ЭВМ имела операционную систему и предназначалась для работы в многопрограммном режиме. Но из-за ограниченности ее оперативной памяти загрузка центрального процессора на больших задачах была вначале совсем низкой. Поэтому в наиболее сложных программах математики сами занимались совмещением счета с обходами. Затем технические специалисты расширили оперативную память БЭСМ-6 в несколько раз, а позднее стали изготавливать ее из блоков памяти серии ЕС, имевших гораздо более высокую надежность. Все эти мероприятия позволили поддерживать загрузку центрального процессора на уровне 93—94%, что явилось высоким показателем для машин такого типа. Эти ЭВМ эксплуатировались до начала 1990-х гг.

Программирование на БЭСМ-6 в первые годы выполнялось в кодах и лишь в середине 1970-х гг. постепенно перешло на языки высокого уровня, хотя многие большие кодовые программы еще долго эксплуатировались после появления трансляторов с АЛГОЛа и ФОРТРАНа, так как ресурсы БЭСМ-6 не позволяли эффективно реализовать большие программы на этих языках. С учетом одноадресности и значительного числа неарифметических команд реальное быстродействие БЭСМ-6 было всего в 15—30 раз выше, чем у М-20, но и этого оказалось достаточно, чтобы в значительной степени удовлетворить запросы разработчиков рядов в одномерных расчетах и приступить к широкому освоению двумерных расчетов по нескольким различным методикам. В конце 1970-х — начале 1980-х гг. появились многопроцессорные ЭВМ серии «Эльбрус», программно совместимые с БЭСМ-6 и превосходящие их по быстродействию в 3—5 раз.

С середины 1970-х гг. начинают поступать ЭВМ серии ЕС (ЕС-1050, 1060, 1061, 1066) с развитыми операционными системами, быстродействием от 0,5 до 5 млн. оп./сек. по Гиббсону-3 и внешней памятью на лентах и дисках. На ЭВМ ЕС программирование прикладных задач ведется уже только на языках высокого уровня, что позволяет заметно снизить затраты на программирование и тем самым существенно расширить круг решаемых задач.

Наконец, в середине 1980-х гг. поступают многопроцессорные ЭВМ серии «Эльбрус-2» с общей для всех процессоров оперативной памятью 16 млн. восьмибайтовых слов и быстродействием каждого процессора более 10 млн. оп./сек. На них уже оказалось возможным считать реальные фрагменты трехмерных задач с учетом газодинамики, теплопроводности и нейтронных процессов. Подготовка к решению таких задач велась еще с начала 1980-х гг.

Советские персональные компьютеры используются пока мало, ввиду их невысокого качества, зарубежных же почти нет. Имеется некоторое количество дисков и дисплеев зарубежного производства, иногда применяется зарубежная магнитная лента. Еще в конце 1960-х гг. были куплены две зарубежные ЭВМ GE-427, среднего по тем временам класса*, на которых наши технические специалисты познакомились с устройством и эксплуатацией дисков; затем некоторое количество дисков было приобретено для использования на БЭСМ-6. Помимо этого интерес к GE-427 вызывался наличием на этих ЭВМ трансляторов с ФОРТРАНа и еще тем, что этот тип ЭВМ использовался в качестве управляющих машин в силу их высокой надежности в некоторых крупных вычислительных центрах США. Знакомство с GE показало также, что современные по тем временам оценки отставания СССР от Запада в области производства ЭВМ были сильно преувеличены. Следует сказать, что никогда не было попыток считать наши задачи и разрабатывать новые методики на установленных в СССР больших зарубежных ЭВМ, так как переход на новые ЭВМ в наших «оружейных» институтах (то есть в максимально благоприятных условиях) каждый раз занимал примерно год и более, ввиду

* Серьезных двумерных расчетов на этих ЭВМ не проводилось, поскольку они совсем не подходили для этого.

большой сложности программных комплексов — в основном потому, что в стране не было достаточно мощных иностранных ЭВМ. Таким образом, непосредственное использование иностранной вычислительной техники не имело для нас принципиального значения и касалось, по существу, только дисков и в еще меньшей степени — дисплеев.

В середине 1960-х гг. правительство приняло решение о разработке ЭВМ серии ЕС, программно совместимых с IBM-360. Уже тогда было ясно, что создание системного и прикладного математического обеспечения обходится намного дороже, чем разработка и производство самих ЭВМ, и принятое тогда решение мотивировалось желанием сэкономить на самой большой статье расходов за счет использования программной продукции других стран. Но такой подход оказался совершенно неэффективным и вместо быстрого преодоления отставания СССР в производстве ЭВМ привел к длительному застою в этой области — примерно на 15 лет. Естественно, что многие из наиболее способных в творческом плане специалистов не желали принять участия в таком проекте; это и целый ряд других обстоятельств привели к затягиванию разработки и изготовления опытных образцов на длительные сроки; невозможность в точности воспроизвести некоторые фрагменты электроники вынудила разбираться в операционных системах, чего всеми силами старались избежать с самого начала, отсюда возникали новые задержки и т. д. Но самым неприятным во всем этом было то, что постепенно практически все средства, выделявшиеся на разработку ЭВМ, были направлены на осуществление проекта ЕС, а это чрезвычайно подвело те организации, которые могли и хотели вести собственные разработки. В особенности пострадали оставшиеся, по существу, без работы специалисты по архитектуре ЭВМ, высокая квалификация которых уже давно была признана за рубежом. Из положительного опыта в связи с этим проектом нужно отметить осознание всеми заинтересованными сторонами значения стандартизации и унификации в вопросах разработки и производства вычислительной техники. На этом крайне болезненном для нашей страны примере видна полная неразумность даже частичного копирования такой сложной продукции, как ЭВМ. Поскольку арзамасский и челябинский институты были одними из основных заказчиков больших отечественных ЭВМ, проект ЕС также отрицательно сказался и на их деятельности: между появлением БЭСМ-6 и первых «Эльбрусов» прошло около 15 лет, а ЭВМ ЕС по существу ничего не дали для наших основных задач.

Поступали в «Арзамас-16» и «Челябинск-70» и некоторые другие образцы вычислительной техники, в основном советской, но эти случаи не имели непосредственного отношения к расчетам по основной тематике и поэтому здесь не рассматриваются.

Теперь проведем более детальное сравнение вычислительной техники, использовавшейся для математического моделирования работы ядерных зарядов в СССР и США. До появления ЭВМ обе страны шли единственно возможным путем — физики упрощали уравнения до такой степени, чтобы их можно было анализировать и решать, не выходя за рамки ручных вычислений. Еще в годы второй мировой войны в США для нужд армии (в частности, артиллерии) разрабатывались электронные вычислительные устройства с аппаратной, т. е. жесткой реализацией алгоритма их работы. Наблюдая за одним из этих устройств, Д. фон Нейман в 1944 г. (см. об этом: [3]) предложил отделить алгоритм (другими словами, программу вычислений) от самого устройства таким образом, чтобы программа вводилась в устройство извне*. Это замечательное и удивительно простое соображение Неймана делало вычислительную машину универсальной и послужило важным стимулом для развертывания работ по созданию ЭВМ в США. Первые из них появились, насколько нам известно, в 1949 г., а их существенное использование для нужд атомного проекта относится, как указывает С. Улам, к 1951—1952 гг. [3]. В СССР этап создания устройств с аппаратной реализацией алгоритмов был, по-видимому, не менее значимым; первая ЭВМ «Стрела» была запущена в Москве в 1952 г. и с самого начала использовалась в интересах арзамасского института. Таким образом, разрыв между США и СССР в первоначальном применении ЭВМ для расчетов ядерных зарядов не превышал трех лет. Организацию работ по созданию ЭВМ у нас начал М. А. Лаврентьев, а затем долгие годы лидером был С. А. Лебедев в московском Институте точной механики и вычислительной техники, впоследствии названном его именем.

Для большинства наших задач было вполне достаточно выполнять арифметические операции с 10—11 десятичными знаками, что обеспечивалось практически всеми отечественными ЭВМ. Размеры оперативной памяти и внешние устройства также не очень сдерживали проведение больших расчетов. Главным сдерживающим фактором для наших задач всегда было быстрое действие ЭВМ. В 1957 г. в «Арзамас-16» работала «Стрела» (2 тыс. оп./сек.), а в Лос-Аламосе — МАНИАК II (около 150 тыс. оп./сек.), очевидно, что они отличались по

* Мы не говорим здесь о работах Чарльза Беббиджа, выполненных в XIX в.

быстродействию примерно в 75 раз. С тех пор это различие подвергалось некоторым колебаниям: так, в Лос-Аламосе был установлен СТРЕТЧ (1961, 1,5 млн. оп./сек.), а в «Арзамасе-16» — БЭСМ-6 (1967, 1 млн. оп./сек.); затем разница снова увеличилась с появлением ЭВМ КРЕЙ-1 и опять уменьшилась в конце 1980-х гг., когда были пущены КРЕЙ-2 и «Эльбрус-2» — две существенно заличающиеся по архитектуре машины*.

Эти показатели всегда были хорошо известны и служили некоторым указанием на то, какой сложности задачи могли решать на своих ЭВМ американские специалисты. Однако уровень расчетов определяется не только машинами, но и программно-математическими разработками, которые могут до некоторой степени компенсировать разницу в быстродействии. Активность в проведении таких разработок напрямую зависит от тех задач, которые ставят перед математиками физики, а поскольку интересных и нужных задач у нас всегда хватало, эти разработки велись весьма интенсивно и были направлены не только на создание новых программ и методик, но и на максимальное использование возможностей ЭВМ ввиду постоянной нехватки машинного времени. За долгие годы существования этого дефицита у математиков накопился большой опыт и выработались определенные традиции его преодоления в данной области. Другими словами, обстоятельства постоянно вынуждали наших специалистов совершенствовать численные методы с целью их большей экономичности и с такими же мерками подходить к структурированию программных комплексов, причем обе разновидности этих работ обычно тесно переплетались между собой. Подробный анализ этого многообразного опыта выходит за рамки данной статьи, и мы отметим лишь только, что такой опыт позволяет для наших основных задач примерно на порядок скомпенсировать так недостающее быстродействие. Еще один порядок при необходимости удастся получить за счет более продолжительного счета задач, так что общая возможная компенсация недостающего быстродействия приближается к двум порядкам.

Конечно, дефицит машинного времени приносил много вреда. Прежде всего из-за этого у математиков были довольно тяжелые условия работы. По этой же причине длительное время не пользовались должной поддержкой математические работы, не связанные непосредственно с основной тематикой. И хотя за долгие годы в этом отношении произошли заметные изменения к лучшему, наверстать упущенное не так просто, потому что вовремя не сложились соответствующие традиции. На производительности труда математиков начинает сказываться и их недостаточная оснащенность персональными компьютерами, хотя это пока в значительной степени компенсируется наличием общей вычислительной сети и больших ЭВМ.

В деле разработки и производства больших ЭВМ интересы военно-промышленных комплексов СССР и США всегда были весьма сходными. Они сводились к тому, что без больших ЭВМ невозможно развивать и эксплуатировать современные системы вооружений, и ядерные центры всегда вносили основной вклад в формирование этих интересов. При такой мотивировке стоимость и до некоторой степени даже качество новых ЭВМ не были главными, поскольку создание вычислительной техники финансировалось из госбюджета. Важно было как можно быстрее получать такую технику и сразу же начинать работать на ней. Но в США, в отличие от СССР, постепенно набирал силу и другой специфический фактор: благодаря рыночным механизмам применение ЭВМ становилось выгодным в большинстве отраслей всей экономики. Здесь стоимость и качество были главными критериями, и частные фирмы на свои средства в условиях невиданной жесточайшей конкуренции развернули массовое производство вычислительной техники, постоянно снижая ее стоимость, повышая надежность и делая ее все более удобной для пользователей. Для России, несмотря на сегодняшнюю крайнюю нестабильность ее экономики, потенциальные возможности создания больших ЭВМ пока не утрачены, но только время покажет, насколько они будут реализованы.

Формирование научной проблематики

В первые годы становления арзамасского института туда был приглашен ряд крупных ученых, в том числе и несколько математиков, но их сравнительно недолгое пребывание там не оставило сколько-нибудь заметного следа прежде всего из-за отсутствия какой-либо вычислительной техники, кроме арифмометров. В 1950-е гг. большое участие в работе приняли сотрудники Отделения прикладной математики московского Математического института. Их теоретические исследования помогали понять, как следует выбирать разностные схемы для аппроксимации тех сложных нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают динамику происходящих при ядерном взрыве физических процессов, и как следует ре-

* Поэтому и способы их эффективной загрузки существенно различны.

шать численно получающиеся при этом системы алгебраических уравнений. Однако первые разработанные ими программы оказались мало подходящими для практического использования: реальные задачи вынуждали вносить в них так много изменений, что единственный путь состоял в их полной переработке, что и делали арзамасские математики. С начала 1960-х гг. москвичи начали постепенно отходить от решения наших задач, хотя некоторые не только теоретически, но и практически продолжают заниматься ими (это прежде всего задачи, связанные с газодинамикой уравнениями состояния веществ и кинетическим уравнением).

В эти годы иногда возникали помехи из-за большой секретности. Например, даже руководители расчетных групп иногда не знали смысла тех величин, которые обсчитывались; так директор московского Математического института И. М. Виноградов не имел формального допуска к работам, которыми занимались у него сотрудники Отделения М. В. Келдыша. Некоторые феномены больших вычислений (прежде всего устойчивость разностных схем) тогда еще не были известны, и это также приводило к задержкам, подчас к непониманию результатов вычислений.

Надо отметить, что наши математики никогда не занимали такого высокого положения в руководстве советским атомным проектом, как Д. фон Нейман и С. Улам в американском. Из-за этой недооценки роли математиков работы по созданию отечественных ЭВМ в результате разворачивались не так быстро, как в США, где Улам еще в 1951 г. обосновал свою точку зрения на принципы конструирования термоядерных зарядов не только ручными вычислениями, но и выполненными при поддержке Неймана расчетами на первой ЭВМ в Принстонском университете. Тогда же расчетным путем он установил и ошибочность подхода Э. Теллера к этому вопросу.

Первое советское термоядерное устройство было испытано в 1953 г. Таким образом, первые термоядерные заряды разрабатывались у нас без использования ЭВМ, и ручные вычисления, несмотря на их фрагментарный характер, играли важную роль при разработке новых теоретических концепций.

С 1957 г. с появлением в «Арзамасе-16» первой ЭВМ «Стрела» эта фрагментарность в организации вычислительных работ довольно быстро уступает место системному подходу. Происходит специализация математиков по основным типам задач (газодинамика, нелинейная теплопроводность, кинетическое уравнение); был образован также отдел нестандартных задач, в котором зародились такие направления, как расчеты уравнений состояния веществ, расчеты нейтронно-ядерных констант и первые работы по автоматизации программирования (освоение трансляторов с языков высокого уровня, создание языков для описания начальных данных к большим задачам и т. д.).

Ведущим математикам, занимавшимся прикладными задачами, с самого начала и по существу до сих пор приходилось очень часто быть одновременно как алгоритмистами, так и программистами; более того, им обычно приходилось самим проводить и наиболее сложные расчеты. Это объяснялось тем, что возможности имевшейся в распоряжении вычислительной техники всегда сильно отставали от тех требований, которые предъявляли к расчетам разработчики зарядов. Дело осложнялось еще и тем, что до середины 1970-х гг. программирование велось в основном в кодах, и общность программ обычно приносилась в жертву их эффективности. Поэтому считавший сложные задачи специалист должен был хорошо знать как программу, так и математический метод, чтобы в принятой за некий стандарт программе быстро делать те изменения, которые были необходимы для счета конкретного варианта задачи (например, вводить нестандартную геометрию, нестандартную счетную сетку, подключать дополнительные физические процессы и т. д.). С переходом к более сложным двумерным и тем более трехмерным задачам такая универсальность охватывает уже не всю программу, а лишь отдельные ее блоки, так что сложную задачу теперь часто приходится считать несколькими специалистами.

В совместном с заказчиками расчетов анализе обычно также обсуждались и способы экономии машинного времени (например, за счет введения тех или иных упрощений при продолжении счета): физики довольно активно участвовали в таких обсуждениях, поскольку именно им, а не математикам, выделялась полная квота времени на все расчеты по конкретному заряду.

Большие и сложные расчеты занимали от нескольких сот до тысячи часов машинного времени (независимо от типа ЭВМ), несколько месяцев по календарю и требовали до нескольких сот обращений к машине. На всех машинах до БЭСМ-6 математики часто считали сложные или срочные задачи, присутствуя в машинном зале, причем нередко делали это и в ночное время: постоянно наблюдая за ходом вычислений, можно было своевременно предпринять те или иные действия по управлению счетом (изменить некоторые параметры задачи, подправить счетную сетку и т. д.), что позволяло намного (иногда в 3—4 раза) сокращать затраты машинного и тем самым календарного времени. По мере создания единой вычисли-

тельной сети в отделениях, такое непосредственное управление счетом больших задач перешло из машинных залов в рабочие кабинеты математиков.

Указанные особенности в проведении расчетов, в разработке новых методик и программ вовсе не свидетельствуют о невнимании к вопросам специализации математиков и автоматизации программирования. Они неизбежно возникают из-за большого несоответствия вычислительной техники и решаемых на ней задач, но ведь другой техники в стране просто не было и быть не могло. Во всяком случае, все лучшее отдавалось в первую очередь в арзамасский институт.

Для улучшения качества программ предварительно составлялись технические задания как по математической постановке задачи, так и на программирование. После завершения работы над программой ее принимала экспертная комиссия, в которую наряду со специалистами отделения входили заказчики расчетов; при наличии серьезных замечаний программа возвращалась на доработку.

В условиях жесткой экономии памяти и количества арифметических операций программа, как правило, становится не товарной продукцией, а произведением искусства. Ни одну большую программу нельзя было передать в другую организацию, если туда вместе с ней не переходил хотя бы один из ее разработчиков; другой подход состоял в том, что на новом месте программа обычно полностью переписывалась с учетом сложившихся ранее традиций у математиков и физиков.

Длительная работа в таких трудных условиях формировала специалистов с довольно широким кругозором и весьма изощренными в применении математических методов, а коллективистские начала в работе выглядели предпочтительнее индивидуализма, поскольку позволяли добиться большего. Проходило довольно много времени (на сложных задачах до 2—3 лет), прежде чем вновь прибывший специалист начинал приносить реальную пользу. Имевших ученые степени до начала 1970-х гг. были считанные единицы, но за последовавшее десятилетие положение постепенно выправилось: в каждом отделении была своя заочная аспирантура, там же защищались и кандидатские диссертации. От поступления на работу до защиты диссертации в арзамасском и челябинском институтах проходило в среднем 8—9 лет, что заметно больше, чем по стране в целом. Докторские диссертации стали регулярно защищаться лишь с середины 1980-х гг. Требования к диссертациям в ученых советах «оружейных институтов» всегда были высокими (в частности, обязательным было внедрение полученных результатов), и вряд ли имеет смысл отказываться от этого.

Но вернемся к тем научно-техническим проблемам, которые уже упоминались в начале этого и предыдущем разделах. Одномерные задачи (газодинамика, нелинейная теплопроводность и кинетическое уравнение для нейтронов) были в первом приближении освоены к началу 1960-х гг., а далее их развитие шло по пути подключения новых физических процессов (например, учета перемешивания в газодинамике, упругости, пластичности, многотемпературности) и улучшения точности расчетов (увеличения числа счетных точек, числа групп нейтронов, применения более совершенных разностных схем и т. д.). Потребности физиков в одномерных расчетах достаточно хорошо удовлетворялись уже к середине 1970-х гг. как по содержанию, так и по срокам выполнения, хотя, конечно, отдельные разработки проводятся по одномерным задачам и до сих пор. Газодинамика и теплопроводность в первых программах считались совместно, но затем принцип расщепления по физическим процессам стал доминирующим.

Проблема распространения излучения с самого начала имела двумерную постановку. Эти задачи были самыми сложными на первом этапе освоения расчетных методик, до середины 1960-х гг.

Освоение задач двумерной газодинамики началось уже в середине 1950-х гг. В середине 1960-х гг. задачи газодинамики считались уже с учетом теплопроводности, а некоторое время спустя и с кинетическим уравнением для нейтронов. Ввиду сильной нелинейности основных задач теория малых возмущений почти не использовалась при увеличении их размерности. Совершенствование двумерных программ также шло по пути подключения новых физических процессов и повышения точности расчетов. Двумерные задачи настолько сложны и многообразны, что для счета основных физических процессов пришлось разрабатывать несколько принципиально различных методик.

В двумерной газодинамике большие проблемы возникают со счетной сеткой, которая при записи уравнений в форме Лагранжа подвергается вместе с веществом сильным деформациям. Было разработано много способов поддержания сетки в приемлемом для счета состоянии и перехода на новую сетку. Наряду с регулярными сетками используются и нерегулярные, когда число элементов в строке или столбце переменное, а ячейка имеет форму многоугольника (для регулярных сеток это четырехугольник). В форме Эйлера уравнения газодинамики используются сравнительно редко. Однако при воздействии ударных волн на протяженные

объекты и в некоторых других случаях эйлерова форма уравнений оказывается более предпочтительной, и поэтому такой подход также пришлось освоить, хотя трудности там есть, но совсем другого рода.

В задачах двумерной теплопроводности много внимания приходится уделять устойчивости и точности аппроксимации нелинейных дифференциальных уравнений параболического типа (она должна осуществляться на плохих газодинамических сетках), сходимости итераций (если система разностных уравнений решается методом расщепления) и прямым методом решения линейных алгебраических систем высокого порядка. Для газодинамики с теплопроводностью была хорошо отработана техника счета (последовательного или параллельного) по отдельным пространственным областям путем постановки внутренних граничных условий. Разбиение большой задачи на более мелкие диктовалось в первую очередь малой емкостью оперативной памяти первых отечественных ЭВМ. В дальнейшем этот подход принес много пользы при организации счета на многомашинных и многопроцессорных комплексах.

Кинетическое уравнение в двумерном случае решается на более крупных по сравнению с газодинамическими сетками. Для расчета распространения частиц всегда широко использовались методы Монте-Карло, для которых геометрия не представляет особых проблем. Для решения нейтронных задач применялось и диффузионное приближение.

От многих других, но, конечно, не всех видов больших вычислительных работ наши отличаются тем, что большинство сложных (двумерных и тем более трехмерных) задач нельзя считать за одно обращение к машине. Почти во все программные комплексы входит газодинамика в лагранжевой форме, а это, как уже отмечалось, неизбежно приводит к большим деформациям счетной сетки. Несмотря на большой набор способов поддержания сетки в относительном порядке, невозможно полностью автоматизировать эту процедуру. Имеется и много других, более частных причин, по которым математикам время от времени приходится вмешиваться в процесс вычислений при решении больших задач. И хотя основной объем расчетов составляют задачи с хорошо отработанной постановкой и апробированной тактикой счета, решаемые инженерно-техническим персоналом, а не квалифицированными научными сотрудниками, последним все же нередко приходится разбираться в нестандартных ситуациях.

В настоящее время двумерные расчеты зарядов уже достаточно хорошо освоены. Задач по воздействию поражающих факторов (излучений и ударной волны) на объекты внешней среды (грунт, сооружения, военную технику) считается меньше, поскольку и потребности в них не такие большие. В последние годы появляется все больше задач по безопасности эксплуатации зарядов на случай их повреждения осколками, огнем, облучением и т. д., и многие из них имеют смысл только в трехмерной постановке. Работы по созданию трехмерных методик и программ стали разворачиваться уже с начала 1980-х гг. При этом большой упор всегда делался на то, чтобы максимально использовать уже имеющиеся двумерные программы и методики.

Подводя итоги, можно сказать, что на освоение одномерных задач нашим математикам потребовалось около 10 лет и ЭВМ с быстродействием порядка 20—30 тыс. оп./сек.; на освоение двумерных задач потребовалось уже около 20 лет и ЭВМ с быстродействием порядка 0,5—1,0 млн. оп./сек., затраты квалифицированного труда также возросли в десятки раз. Что касается перспектив широкого освоения трехмерных задач, то нам представляется, что по времени это займет не больше, чем предыдущий (второй) этап, причем затраты квалифицированного труда будут примерно такими же, но быстродействие ЭВМ должно возрасти не менее чем на два-три порядка. Эта оценка исходит из того, что уже сейчас накоплен очень большой опыт по трехмерному счету, созданы первые методики и программы, сосчитаны сотни различных трехмерных задач. Что касается быстродействия ЭВМ, то на многопроцессорных машинах «Эльбрус-2» наши задачи пока могут распараллеливаться лишь на небольшое число процессов, так что за счет этого мы можем получить только один порядок в повышении быстродействия. Но когда число процессоров возрастет хотя бы на два-три порядка, распараллеливание станет чрезвычайно эффективным способом ускорения счета. Существенно новым моментом по сравнению со вторым этапом являются также вопросы обработки и представления информации в удобном для анализа виде.

Расчет заряда или его воздействия на внешнюю среду представляет собой сложную научно-техническую работу, неоднократно прерываемую для обсуждения с заказчиками получившихся промежуточных результатов, изменения тактики счета и согласования различных ветвей расчета (эти ветви могут идти по совершенно различным программам, и далеко не всегда можно добиться их сопряжения непосредственно на ЭВМ). Такой расчет длится обычно несколько месяцев и иногда надолго прерывается, если специально для его продолжения нужно написать большую программу.

Разработчикам зарядов одномерные расчеты позволили освоить основные принципы их

конструирования, понять динамику происходящих при ядерном взрыве процессов и провести первоначальную оптимизацию параметров конструкций. Двумерные расчеты помогли уменьшить вес и габариты зарядов за счет оптимизации по большему числу параметров, за счет большей точности математического моделирования. Многолетние интенсивные усилия математиков по освоению двумерного счета стимулировались постоянным интересом и даже давлением со стороны руководства и заказчиков. Трехмерные расчеты помогают в разработке более тонких приемов в конструировании зарядов, в разработке зарядов нового поколения, на новых физических принципах, и существенно расширяют класс задач по расчетам воздействия поражающих факторов ядерного взрыва, а также задач по безопасному обращению с зарядами. Однако для счета интересных сложных задач недостаточная мощность сегодняшних ЭВМ служит пока большим препятствием.

Некоторые открытые американские публикации по вычислительной математике оказали определенное влияние на математические работы арзамасского и челябинского институтов, особенно в первые годы. Сюда относятся введение искусственной вязкости для счета уравнений газодинамики, применение в газодинамике схем повышенного порядка точности, применение метода конечных элементов для построения схем с положительно определенной матрицей, ряд схем для кинетического уравнения, некоторые тесты для уравнений газодинамики и т. д.; достаточно широко использовались также многие стандартные программы по линейной алгебре и обыкновенным дифференциальным уравнениям. Многие новые идеи (например, предложенный Харлоу метод частиц в ячейке) на наших ЭВМ было трудно осуществить сразу. Большой популярностью долгие годы пользовалась книга Рихтмайера по разностным методам решения краевых задач. Закрытые американские отчеты по методам вычислений в наши «оружейные институты», по-видимому, никогда не попадали. Таким образом, американская вычислительная наука лишь в незначительной степени определяла направление и темпы развития наших работ. Гораздо большее влияние на интенсивность математических разработок, на эффективность создаваемых математических методов оказывало отставание в вычислительной технике. Именно оно заставляло нас изобретать экономичные методы решения задач, разрабатывать эффективную технологию расчетов, наконец, привлекать к расчетам большие, чем в США, математические коллективы.

Хорошо известно, что прикладные математические методы, используемые для решения сложных технических задач, часто не поддаются сколько-нибудь строгому теоретическому обоснованию. К их числу принадлежат и расчеты зарядов. Здесь некоторые математические приемы удается обосновать лишь для простейших модельных задач, однако обоснованием для большинства этих приемов и методов служат лишь достаточно тщательные численные эксперименты, которые и составляют основу научной работы наших математиков. Другим источником новых идей всегда были сложные расчеты, и большинство наших ведущих специалистов обычно старается как-то совместить обе эти линии в своих научных исследованиях.

* * *

От ручных вычислений до численного моделирования работы ядерного заряда и последствий ядерного взрыва в трехмерной геометрии — таков путь, пройденный за эти десятилетия математическими отделами институтов «Арзамас-16» и «Челябинск-70». И чем дальше по этому пути продвигаются, тем больше возникает новых интересных задач, которые нужно решать.

Если говорить совсем коротко, то наши математики хорошо умеют решать сложные задачи на недостаточно приспособленных для этих задач машинах, а технические специалисты хорошо обслуживают эти машины, имеющие множество заводских и конструкторских недоработок*. Без каких-либо преувеличений можно сказать, что оба — арзамасский и челябинский — вычислительные центры всегда были и надолго останутся самыми крупными в стране из занимающихся научно-техническими задачами как по опыту работы, так и по технической оснащенности. Каждый из этих центров представляет собой тесное переплетение крупного научного учреждения и большого наукоемного производства.

С сокращением испытаний роль расчетов в процессе разработки ядерных зарядов, при оценке воздействия поражающих факторов на внешние объекты и в обеспечении безопасной эксплуатации зарядов будет еще выше, чем это было раньше. Основными в будущем должны стать трехмерные задачи, для освоения которых многое еще предстоит сделать.

В связи с изменением политической обстановки в мире теперь, наряду с традиционными

* Последнее особенно отчетливо проявляется потому, что в «Арзамас-16» обычно поступают первые образцы новых машин.

направлениями, представляется возможным участие математиков наших «оружейных институтов» и в других больших проектах, связанных с экологией, энергетикой, медициной, новой техникой и т. д. Для такого участия есть главное — высококвалифицированные кадры и громадный опыт решения сложных научно-технических задач.

При подготовке публикации были использованы следующие материалы:

1. Софронов И. Д. Математическое моделирование в ВНИИЭФ // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 1992. № 4. С. 114—117.
2. Софронов И. Д. Математическое моделирование нестационарных газодинамических процессов // Сборник тезисов докладов Международной школы-семинара «Физика и газодинамика ударных волн». Минск, 1992.
3. Улам С. Вычислительные машины // Математика в современном мире. М., 1967. С. 181—198.

И. С. ДРОВЕНИКОВ

В МУЗЕЕ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ*

13 ноября 1992 г. в Российском федеральном ядерном центре, более всего известном как «Арзамас-16», был открыт первый в нашей стране общедоступный музей ядерного оружия.

Первоначальное размещение в одном из залов местного техникума несколько не умаляет значения экспозиции, являющейся наряду с аналогичными музейными собраниями в Лос-Аламосе и Альбукерке (США) наглядной демонстрацией важнейшего элемента современной цивилизации, оказавшего воздействие на все сферы человеческой жизни и, разумеется, на политику, экономику, культуру.

Приподнявшийся с окончанием холодной войны железный занавес позволил не только специалистам, но и простым гражданам стран, долгие десятилетия остававшихся глобальными соперниками, увидеть, наконец, то, что, определяя их судьбу, оставалось высшей государственной тайной. В этой связи сам факт открытия музея, как и решение Минатома России об открытом экспонировании девяти уникальных объектов, образующих музейное собрание, находятся в ряду наиболее достойных примеров гласности, отражающих новую историческую реальность. Что до самой экспозиции, то при всей своей лаконичности она достаточно репрезентативна. Этим качеством, как и цельностью, она обязана самим экспонатам, историческое значение которых предопределяет ценность экспозиции и возможность проиллюстрировать важнейшие этапы советской ядерной программы.

Нехитрый, словно бы заимствованный из школьного кабинета физики пульт, открывающий обзор музея, привлекает внимание не столько огромным висячим замком, преграждающим доступ к главному рубильнику, сколько тем, что простым поворотом последнего поток событий и идей, составляющих мировую политику, а значит и историю, был 29 августа 1949 г. направлен из старого русла атомной монополии в новое — атомной дипломатии. В то далекое утро атомный вихрь разметал по казахстанской степи еще накануне аккуратно расставленные танки, самолеты, гаубицы; искорежил опоры ЛЭП, сокрушил мосты, разрушил здания и даже не



Открытие музея.

Слева направо: академики РАН Ю. А. Трутнев, Ю. Б. Харитон, министр Минатома России В. Н. Михайлов. Сзади — директор РФЯЦ—ВНИИЭФ В. А. Белугин

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта: 93-06-10331). Фотоиллюстрации подготовлены В. И. Лукьяновым (РФЯЦ—ВНИИЭФ).