

ИСТОРИЧЕСКАЯ РОССИЯ

АЛЕКСАНДРА ВЕНГЛИНСКАЯ

МОЯ СУПЕРДЕРЖАВА

О достижениях СССР
в науке и высоких технологиях



Александра Венглинская

МОЯ СУПЕРДЕРЖАВА

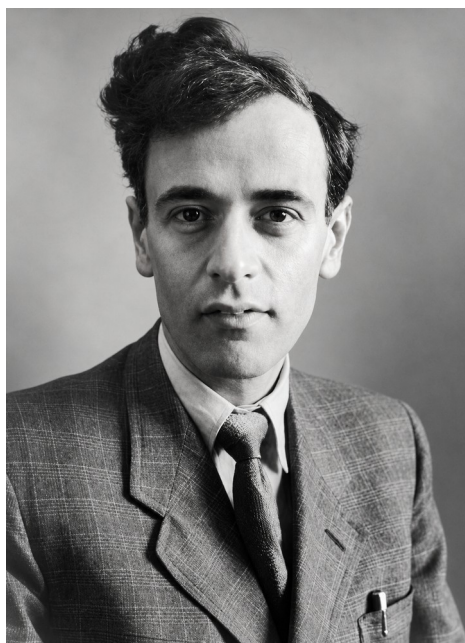
Как СССР создавал научную
и технологическую мощь

Ответ дали приборы.

Из пролога этой книги

Проект «Историческая Россия»

Полное издание · редакция 1.1
2026



ЛЬВУ ДАВИДОВИЧУ ЛАНДАУ

1908-1968

Советскому физику-теоретику, ученику Нильса Бора, доктору физико-математических наук, профессору, академику Академии наук СССР, Герою Социалистического Труда.

Лауреату Нобелевской премии по физике (1962), Ленинской премии (1962), трёх Сталинских премий (1946, 1949, 1953), премии Фрица Лондона и медали Макса Планка (1960), иностранному члену Лондонского королевского общества и Национальной академии наук США.

Создателю выдающейся научной школы и, совместно с Евгением Михайловичем Лифшицем, фундаментального десяти томного «Курса теоретической физики» — труда, который более шестидесяти лет остаётся настольным пособием всех поколений физиков во всём мире.

О книге

В 1970 году школа Михаила Карцева начала разработку М-10. Уже в следующем году изготовитель получил документацию и приступил к производству. Для её наследницы М-13 переход к заводу растянулся на годы: назначенные предприятия не развернули выпуск в 1981–1983 годах, а первые две машины новый изготовитель поставил в 1986-м. Почему опытная инженерная школа однажды проходила этот путь быстро, а в другой раз теряла время? Здесь начинается разговор о действительном устройстве научной державы.

Британские физики везут в Москву пять тонн аппаратуры, чтобы проверить температуру плазмы. Испытатели ищут винт, из-за которого ракета получает ложные команды. Программисты запускают вычислительный центр строящегося КамАЗа. Космонавты соединяют шестнадцать проводов, возвращая энергию замёрзшей станции. За известными результатами обнаруживаются работа исполнителя, спор о решении и препятствие, которое нельзя преодолеть одним постановлением.

Эта книга — о стране, создавшей такие коллективы, и об условиях, при которых их работа продолжалась. Научные открытия, заводское освоение, государственный заказ и результат для человека рассматриваются вместе. Свидетельства участников соседствуют с документами и техническими объяснениями; у каждого сравнения указан предмет. Читателю предложены не только достижения, но и возможность разобраться, почему одни решения становились началом большого дела, а другие оставались без своевременного продолжения.

Почему «моя»

Я называю эту страну своей. Её научная и инженерная работа составляет часть моего представления о том, что люди способны сделать вместе. В этой книге мне важно вернуть достижениям их содержание: задачу, исполнителей, трудности и результат, который можно проверить.

Откроем воспоминания Юрия Рогачёва. Фотооригиналы для многослойных плат М-13 отправлены на завод; производство стоит. Затем меняется изготовитель, на новом месте фотооригиналы делают заново — и машина доходит до серии. Решающим становится выбор: кто и на каком оборудовании выполнит следующую операцию. От него зависела судьба разработки.¹

Вот почему меня интересует не только первый образец. Не меньше значит следующая машина: кто её построит, кто примет, кто исправит обнаруженную ошибку и кто подготовит молодого специалиста, способного продолжить работу. На этих вопросах сходятся наука, инженерное дело и управление.

Ландау, Патон, Глушков, Чумаков и их сотрудники работали в разных областях. Их объединяло стремление довести мысль до результата, за который можно отвечать. Государство давало этому труду масштаб: институты, заводы, образование, длительные программы. Решения того же государства могли прервать научный спор, задержать производство или разрушить коллектив. Разобраться в этих действиях — тоже часть уважения к людям, чьим трудом страна стала сильной.

Мне близок разговор, в котором спор решается предметно. Если речь о первом полёте — назовём дату и задачу. Если о массовой технике — посмотрим на выпуск, качество и обслуживание. Если о потерях — установим, кто ушёл, какая работа прекратилась и что потребовалось бы для её продолжения. У каждой оценки должны быть свой предмет и своя мера.

Инженер найдёт здесь устройство решений. Молодой читатель — пути к самостоятельной работе. Скептик — источники и основания для возражения. Я рассчитываю на читателя, которому недостаточно ни парадного перечня рекордов, ни привычного рассказа о сплошном отставании. Мне самой недостаточно обоих.

Сохранить наследство — значит суметь им воспользоваться. Ради этого и стоит восстановить, как оно было создано.

Как читать эту книгу

Книгу можно читать последовательно или начать с близкого вам вопроса. Главы сохраняют самостоятельные сюжеты и связаны общим вопросом о продолжении работы.

Если вас интересует...	Начните здесь	Затем сопоставьте
Как проверяется технический результат	Пролог, глава 5	Глава 21: основания сравнения
Космос и испытания	Главы 4–7	Глава 24: остановка программ
Компьютеры и программы	Глава 3, часть IV	ЕС ЭВМ, М-13
Завод, материал, качество	Часть III, глава 16	КамАЗ
Результат в повседневной жизни	Главы 18–20	Сводная таблица
Сильные возражения к авторскому тезису	Почему «моя», цена вмешательства	Атомный проект, главы 21–25
Как учились будущие исследователи	Главы 1 и 20	Вопросы и дальнейшее чтение

Под названием каждой главы указаны её основные годы и места. Короткие технические врезки помогают следить за работой прибора без специальной подготовки. Номера ссылок ведут к примечаниям в приложении 7. Примечания сгруппированы по главам и интермедиям; внутри каждого раздела нумерация начинается заново.

Для первого знакомства с темой: кто есть кто и словарь сокращений и обозначений.

Оглавление

Почему «моя»	5
Пролог. Пять тонн для проверки	10
Часть I. Школа и открытие	15
Глава 1. Сорок три ученика Ландау	16
Глава 2. Свет, запертый в кристалле	25
Глава 3. Шесть тысяч ламп и первый расчёт	32
Интермедия. Когда государство мешало собственной науке	40
Часть II. Право на полёт	45
Глава 4. Тридцать две камеры перед стартом	46
Глава 5. Винт, который мог погубить ракету	52
Глава 6. Сто восемь минут общей работы	61
Глава 7. Вернуть свет на «Салют-7»	68
Часть III. Завод за открытием	76
Глава 8. От пяти мегаватт до атомной отрасли	77
Интермедия. Разведка, собственная наука и атомный результат	82
Глава 9. Сварить танк. Построить мост	85
Глава 10. Тридцать нанометров и общий миллиметр	90
Глава 11. Зеленоград: завод внутри кристалла	95
Интермедия. Чернобыль: кто отвечает за остановку	103
Часть IV. Машина и решение	107
Глава 12. Кто заставлял компьютер работать	108
Интермедия. ЕС ЭВМ: зачем выбрали совместимость	113
Глава 13. КамАЗ: вычислительная машина входит через окно	117
Глава 14. Глушков у Косыгина	124
Глава 15. Побиск Кузнецов: четыре тысячи связанных работ	130
Часть V. Для исследователя и для человека	137
Глава 16. Титан для глубины	138
Глава 17. Один нейтрон за две минуты	143
Глава 18. Ил-18: право на следующий рейс	148
Интермедия. Оборона и гражданка	154
Глава 19. Вакцина для миллионов	157

Глава 20. Школьник получает адрес лаборатории	161
Часть VI. Преимущество, разрыв, наследство	166
Глава 21. Первый — в чём именно?	167
Глава 22. Чужой чертёж, собственная работа	172
Глава 23. М-13: машина есть, выпуска нет	177
Глава 24. После «Бурана»: что нельзя законсервировать	183
Интермедия. Те, кто ушёл	188
Глава 25. Как стране вынесли технический приговор	190
Глава 26. Сила, которую нужно воспроизводить	194
Эпилог. Кто поставит следующий опыт	199
Приложение 1. Что именно сравнивать	202
Приложение 2. География совместной работы	209
Приложение 3. Дальнейшее чтение и вопросы	213
Приложение 4. Открытые вопросы	216
Приложение 5. Кто есть кто	218
Приложение 6. Сокращения и обозначения	230
Приложение 7. Источники и примечания	241

Пролог. Пять тонн для проверки

На конференции в новосибирском Академгородке 1–7 августа 1968 года Арцимович сообщил: советская плазма нагрета свыше десяти миллионов градусов, время удержания энергии — около десяти миллисекунд. Мелвин Готлиб, директор Принстонской лаборатории физики плазмы, сомневался: возможно, измерители видели лишь небольшую группу особенно быстрых электронов. Этот спор сохранил участник конференции Жан Жакино. Если Готлиб прав, представление о достигнутом нагреве придётся пересмотреть. От ответа зависело, какие установки будут строить крупнейшие физические лаборатории.³

Из британского Калэма в Москву отправили пять тонн аппаратуры. Советская установка готовилась принять независимых измерителей.²

Арцимович предложил руководителю Калэмской лаборатории Себастьяну Пизу проверить советский результат британской аппаратурой. Сотрудники Калэма владели новым способом диагностики — измерением температуры по рассеянию лазерного света. К концу 1968 года группа была сформирована. В неё вошли Пикок, Форрест, Уилкок и Робинсон; техническую работу обеспечивал Гарри Джонс. Весной 1969 года начался монтаж измерительного комплекса на советской установке.²

«Мы немного побаивались» — вспоминал Майкл Форрест (перевод с английского).²

Токамак возник из исследований, которые велись в СССР с начала 1950-х годов. В основе направления лежали работы Игоря Евгеньевича Тамма и Андрея Дмитриевича Сахарова о магнитном удержании горячей плазмы. В кольцевой камере магнитное поле внешних катушек сочеталось с полем тока, протекавшего через саму плазму. Ток одновременно нагревал её. Главной трудностью было удержать горячее вещество достаточно долго, подавив разрушительные неустойчивости.^{3, 7}

За теоретической схемой последовала последовательность машин. Владимир Муховатов пришёл в будущий Курчатовский институт в 1956 году, ещё студентом Московского университета, для выполнения дипломной работы. В его секторе уже испытывали небольшую тороидальную установку с фарфоровой камерой, затем аппараты с медными стенками. К концу 1957 года появился Т-1 с внутренней оболочкой из нержавеющей стали. Название «токамак» предложил Игорь Николаевич Головин. К результату Т-3 шли через изменение конструкции, новые измерения и опыт предыдущих установок.⁴

Как это работало · Т-3А в числах

Большой радиус — 1 м; радиус внутреннего сечения — 20 см. В медной оболочке расположена камера из нержавеющей стали. Ток — до 180 кА; импульс — до 70 мс. Подготовка: несколько суток прогрева под вакуумом свыше 400 °С и сотни очистительных разрядов. Параметры расширенного отчёта 1970 года.⁵

Как это работало · Лазерный термометр

В обычном термометре вещество прибора обменивается теплом с измеряемым объектом. В горячую плазму такой прибор не поместишь. В опыте Т-3 через неё пропускали лазерный луч и изучали свет, рассеянный электронами. Их движение меняло частоту рассеянного света. По распределению частот можно было восстановить распределение скоростей, а через него — электронную температуру.

Проверка была особенно сильна тем, что использовала другой измерительный принцип. Если два способа дают согласующиеся результаты, уменьшается вероятность, что наблюдаемое объясняется особенностью одного прибора. Поэтому британская аппаратура проверяла не авторитет Арцимовича, а определённую физическую величину.^{1, 5}

Схема. Лазерная проверка: от сигнала к температуре



Лазер проходит через плазму; по спектру рассеянного электронами света восстанавливают электронную температуру.

Схема измерительного принципа, без масштаба.

Начало июля 1969 года. Призма и первый сигнал

В Москве британская группа ещё не могла ответить на вопрос, ради которого привезла пять тонн аппаратуры. Лазер проходил через плазму Т-3, но слабый рассеянный свет терялся в свечении примесей. Прибор не различал тот сигнал, по которому предстояло определить температуру. В этих условиях отсутствие результата ничего не говорило о правоте советских физиков: сначала надо было заставить работать независимый способ проверки.^{2,6}

Выход искали в режиме рубинового лазера. Вместо длинного импульса использовали короткие вспышки продолжительностью 20–30 наносекунд, с энергией около трёх джоулей. Световой импульс стал интенсивнее. Теперь повреждалась кварцевая призма, направлявшая луч. Изменение, которое помогало выделить полезный сигнал, ставило под угрозу саму оптическую систему.⁶

Дерек Робинсон и советские сотрудники доработали её. В начале июля получили измеримый сигнал. Это была ещё не законченная проверка температуры: появилась возможность накапливать измерения. К 6 августа их было 88; температуры находились в области десяти миллионов градусов. В сентябре Робинсон представил результаты на международном симпозиуме в Дубне.⁶

У этой последовательности есть свой предмет спора. До переделки оптики исследователи не могли надёжно отделить искомый свет от помехи. После неё возник ряд измерений, пригодный для обсуждения с другими физиками. Решение принимали на уровне прибора, а последствия затронули выбор целого направления термоядерных исследований. Для перехода между этими масштабами понадобились и исправленная деталь, и повторение опыта, и публикация.

1 ноября 1969 года журнал Nature опубликовал трёхстраничную статью пяти авторов: Никола Пикокка, Дерека Робинсона, Майкла Форреста, Питера Уилкока и В. В. Санникова. Четверо представляли Калэм, пятый — Институт атомной энергии имени И. В. Курчатова. Лазерные измере-

ния подтвердили электронную температуру до одного килоэлектронвольта — приблизительно 11,6 миллиона градусов.¹

После независимой проверки

Британское Управление по атомной энергии в июле 1970 года выпустило расширенный отчёт об исследованиях Т-3А. В нём были приведены электронные температуры до двух килоэлектронвольт — около 23 миллионов градусов. Измеренная энергия плазмы согласовывалась с результатами советской диамагнитной диагностики.⁵

Сопоставляя две публикации, я сначала смотрю на предел измеренной температуры: один килоэлектронвольт в статье 1969 года и два — в расширенном отчёте 1970-го. Даты и объём исследования различаются. Если оставить в рассказе только большее число, исчезнет то, что именно подтвердили пять авторов первой статьи.^{1, 5}

Последствия проявились в решениях крупнейших лабораторий. В 1969 году, после британской проверки, в Принстоне решили переделать стелларатор Model C в токамак. Стелларатор удерживал плазму полем внешних магнитов; переходя к советской схеме, принстонские физики переделывали машину. Эксперименты на получившем название Symmetric Tokamak аппарате начались 1 мая 1970 года. Их результаты стали основанием для предложения следующей, более крупной установки — Princeton Large Torus.⁷

Калэм также пересмотрел свои приоритеты. Британское Управление по атомной энергии прямо связывает поворот своей программы с московскими измерениями 1969 года: с начала 1970-х основная часть исследований лаборатории сосредоточилась на токамаках.⁸

Британцы приехали проверить советских физиков. В итоге менять исследовательские программы пришлось британцам и американцам. Ответ дали приборы.

Почему страна умела создавать такие результаты — и почему её сильная разработка могла годами ждать изготовителя? Ответ придётся искать и в лаборатории, и за её стенами.

Часть I. Школа и открытие

«Мы попробуем создать коллективный критический ум», — так Халатников передавал замысел продолжения школы Ландау.⁷

Школа должна была пережить человека, вокруг которого сложилась. Для этого мало сохранить перечень его результатов. Следующему исследователю предстоит самому выбрать задачу, выдержать возражение, проверить расчёт. Институт даёт такой работе время и место, а привычка к критике определяет, что происходит внутри его стен. Эта часть прослеживает путь от подготовки физика к открытиям, приборам и первым вычислительным машинам. Рядом остаётся история вмешательства, которое лишало исследователя свободы или меняло кафедру административным решением. Передача знания зависела от того, кто мог учить, кто получал право спорить и чем завершался спор: новым расчётом, опытом или распоряжением.

Время: 1918: институт Иоффе · 1934: теорминимум · 1951: МЭСМ · 1970: гетеролазер.

Три вопроса к этой части: кто учится продолжать исследование? Кто может повторить изделие? Кто пользуется им и возвращает сведения об ошибках?

Глава 1. Сорок три ученика Ландау

1916–1969 · Ленинград — Харьков — Москва

1934–1961. Позвонить и сдать экзамен

Сорок три человека за двадцать восемь лет. Столько будущих исследователей полностью сдали теоретический минимум Льва Давидовича Ландау с 1934 по 1961 год. К январю 1969-го, когда Евгений Лифшиц опубликовал воспоминания об учителе, семеро из них стали членами Академии наук, ещё шестнадцать — докторами наук. Короткий список был началом нескольких научных биографий и направлений исследований.¹

«Встретиться с ним для этого мог всякий» — писал Лифшиц о доступе к экзамену.¹

Первым испытанием была математика: интегралы, дифференциальные уравнения, векторный анализ, комплексные переменные. Затем следовали семь разделов теоретической физики. Первый экзамен Ландау принимал лично. Обратиться к нему мог любой желающий: достаточно было позвонить и договориться о встрече.¹

Подготовка к неизвестной задаче

У этого порядка была практическая цель. В новой задаче физик должен самостоятельно выбрать подходящую модель, составить уравнения и понять, какие величины определяют результат. Ошибка в исходном приближении способна обесценить месяцы вычислений. Поэтому владение математикой доводили до уровня рабочего навыка: исследователь должен был сосредоточиться на физическом содержании задачи.

«математические затруднения по возможности не отвлекали внимания от физических трудностей задачи» — Евгений Лифшиц о подготовке теоретика, 1969.¹

Стране предстояло строить реакторы, рассчитывать движение плазмы, изучать полупроводники и поведение материалов при крайних температурах. Учебника с готовыми решениями для этих работ ещё не существовало. Людей готовили к самостоятельному исследованию неизвестного.

За школой Ландау стояла уже сложившаяся сеть научных учреждений. Её истоки вели в Петроградский политехнический институт, где в 1916 году Абрам Фёдорович Иоффе организовал физический семинар. В нём участвовали Пётр Капица, Николай Семёнов, Яков Френкель. После революции это сообщество получило постоянную исследовательскую базу. В сентябре 1918 года был учреждён Государственный рентгенологический и радиологический институт; его физико-технический отдел возглавил Иоффе. С 1 января 1922 года отдел стал самостоятельным институтом.²

Собственные механические и стеклодувная мастерские появились в 1923 году. Эта деталь объясняет устройство научного труда лучше многих юбилейных формул. Экспериментатор заказывал мастерской сосуд особой формы, герметичный ввод, точную деталь — приспособление, которого ещё не было в каталоге. Возможность изготовить и переделать прибор рядом с лабораторией сокращала расстояние между идеей и опытом.

При Высшем совете народного хозяйства в 1924 году создали Центральную физико-техническую лабораторию под руководством Иоффе — для внедрения результатов исследований. В 1932 году в Физтехе оформились лаборатории атомного ядра во главе с Игорем Курчатовым и полупроводников во главе с самим Иоффе; теоретический отдел возглавил Френкель. Исследовательская база разрасталась вместе с кругом задач.²

Так возникала инфраструктура, в которой талантливый выпускник мог пройти путь до руководителя самостоятельного коллектива. Институт обеспечивал длительность работы: помещения, приборы, мастерские, библиотеку, зар-

плату. Молодой учёный получал возможность заниматься задачей, решение которой занимало годы.

Двадцатичетырёхлетний Ландау в 1932 году возглавил теоретический отдел Украинского физико-технического института в Харькове. Здесь он начал формировать свою школу и программу теорминимума. Весной 1937 года переехал в Москву, к Капице, руководить теоретическим отделом Института физических проблем.¹

Новый институт был создан в декабре 1934 года. Его появлению предшествовало тяжёлое для Капицы решение: приехавшему в СССР учёному запретили возвращаться к работе в Кембридже. Для продолжения исследований понадобилось перенести оборудование. В ноябре 1935 года сенат Кембриджского университета по ходатайству Эрнеста Резерфорда согласился продать Советскому Союзу приборы Мондовской лаборатории.³

Капица в Москве продолжил исследования при температурах, близких к абсолютному нулю. 8 января 1938 года Nature напечатал его сообщение о сверхтекучести жидкого гелия. На соседней странице появилась работа Джона Аллена и Дона Мизенера о течении гелия II. Исследователи в Москве и Кембридже столкнулись с явлением, выходявшим за пределы привычной механики жидкостей: гелий проходил через узкие каналы с чрезвычайно малым сопротивлением.⁴

При температуре около двух градусов выше абсолютного нуля вещество демонстрировало свойства, которые невозможно объяснить поведением обычной жидкости. Объяснить это движение могла теория квантовой системы, состоящей из огромного числа взаимодействующих атомов. Эксперимент Капицы дал Ландау предмет для такой работы.⁵

Год, которого могло не быть

Но между открытием и его объяснением произошёл годовой разрыв. 28 апреля 1938 года Ландау арестовали. Капица сразу обратился к Сталину, затем продолжал доби-

ваться освобождения коллеги. 28 апреля 1939 года Ландау вышел на свободу под его личное поручительство.³

«Теория сверхтекучести гелия-II» появилась в 1941 году. Ландау связал поведение жидкости с её коллективными возбуждениями. В описании возникли нормальная и сверхтекучая составляющие, способные двигаться по-разному. Из уравнений следовало существование двух видов звуковых колебаний. Помимо обычного звука, связанного с изменениями плотности, в такой жидкости могли распространяться температурные волны — второй звук.⁶

Это был переход от наблюдения необычного эффекта к предсказанию новых. Теоретик задавал экспериментаторам следующий вопрос и указывал, что именно следует измерить. В 1957 году опыты по рассеянию нейтронов в Стокгольме непосредственно подтвердили представления об энергетическом спектре возбуждений жидкого гелия. При вручении Ландау Нобелевской премии в 1962 году Ивар Валлер особо выделил эту проверку.⁵

Советская лаборатория создавала объяснение, которым пользовались исследователи других стран. Научный результат становился частью общего языка физики: с его помощью ставили опыты, истолковывали измерения и искали новые состояния вещества.

Низкие температуры дали тому же институту выход в промышленность. В апреле 1943 года заработал опытный завод с установкой Капицы ТК-200, производившей 200 килограммов жидкого кислорода в час. В январе 1945 года правительственная комиссия приняла установку ТК-2000 в Балашихе производительностью 1600 килограммов в час. Между ними — восьмикратное увеличение выпуска. Основой служили исследования Капицы по ожижению газов и разработанный им турбодетандер.³

Кислородную установку и теорию квантовой жидкости проверяли разными способами. Первая проходила проверку производительностью и эксплуатацией; вторая — согласием предсказаний с опытом. Институт поддерживал обе линии.

Фундаментальная наука и инженерная разработка могли пользоваться общей экспериментальной культурой, сохраняя собственные задачи.

Для учеников Ландау повседневной формой обучения был семинар, проходивший еженедельно почти тридцать лет.¹ Исаак Халатников вспоминал, как сотрудники получали номера американского *Physical Review*: Ландау отмечал интересовавшие его статьи, а ученики готовили сообщения. Ссылка на узкую специализацию не освобождала от обязанности разобраться. Теоретик должен был свободно переходить между разными областями физики и сохранять связь с экспериментом.⁷

«Что интересовало Ландау, так это физика в целом» — Исаак Халатников, 1996.⁷

Школа выходит за стены института

Вторым способом передачи школы стал «Курс теоретической физики» Ландау и Лифшица, создававшийся в Институте физических проблем. Его разделы связывали механику, квантовую теорию, статистическую физику и электродинамику в единую систему подготовки.^{8,9} Студент получал последовательный путь к исследовательской работе. Личное преподавание превращалось в воспроизводимую программу, доступную за пределами кабинета учителя.

Сходный переход от лаборатории к самостоятельному научному направлению происходил у Николая Николаевича Семёнова. Постановлением Высшего совета народного хозяйства от 15 октября 1931 года на базе физико-химического сектора Ленинградского физтеха создали Институт химической физики. Семёнов руководил им до 1986 года — пятьдесят пять лет. В 1940 году институт вошёл в систему Академии наук СССР.¹⁰

Предметом исследования были химические превращения во времени: почему реакция начинается, с какой скоростью идёт, при каких условиях затухает или становится взрывной. Для энергетики и химического производства это

вопросы выбора рабочего режима и безопасности. Исследователи связывали поведение отдельных частиц с процессом, протекающим в аппарате.

Цепная реакция продолжается, пока активные частицы порождают новые активные частицы. Разветвление цепей ускоряет процесс, их обрыв тормозит его. В 1934 году Семёнов обобщил исследования этого механизма в книге «Цепные реакции».¹¹

Другая задача касалась теплового самовоспламенения. Реакция выделяет тепло, нагрев ускоряет реакцию, и тепло-выделение возрастает. Одновременно сосуд отдаёт тепло окружающей среде. Если выделение тепла начинает устойчиво опережать его отвод, температура быстро растёт. В 1928–1940 годах Семёнов и его сотрудники разработали математическую теорию этого процесса. При известных свойствах реакции и условиях теплоотвода она позволяла заранее рассчитывать температуру самовоспламенения и задержку взрыва.¹¹

Условия воспламенения зависели от состава смеси, давления и отвода тепла стенками. Конструктор получал физическое основание для выбора размеров аппарата и режима охлаждения.¹¹

В исследованиях горения участвовали Яков Борисович Зельдович и Давид Альбертович Франк-Каменецкий; их совместная работа 1938 года вошла в основание теории распространения пламени, изложенной Семёновым в Нобелевской лекции.¹¹ В институте работали также Юлий Борисович Харитон, Кирилл Иванович Щёлкин, Николай Маркович Эмануэль. Из одной исследовательской среды выходили специалисты, способные вести разные крупные программы.¹⁰

Семёнов в Нобелевской лекции 1956 года особо отметил сотрудников, уже ставших руководителями научных направлений.¹¹ Школа умножала число людей, способных ставить задачи и отвечать за их решение.

Продолжение школы пришлось отдельно защищать ученикам Ландау после автомобильной катастрофы января 1962 года, оборвавшей его научную работу. Алексей Абрикосов, Лев Горьков, Игорь Дзялошинский и Исаак Халатников предложили создать самостоятельный Институт теоретической физики. Они стремились сохранить коллектив, которому угрожало рассеяние по разным учреждениям.⁷

«мы попробуем создать коллективный критический ум»
— Исаак Халатников о замысле института, 1996.⁷

Халатников выделял две особенности унаследованной школы: широкий круг задач и постоянную связь с экспериментом. Именно их предстояло сохранить в новом институте. Продолжение работы зависело теперь от организационного решения — предоставить сложившемуся коллективу собственное учреждение.⁷

Государственную поддержку науки здесь можно увидеть по её адресам. Средства направлялись на институты, в которых можно было годами исследовать вещество; на мастерские, способные изготовить новый прибор; на подготовку учеников, которым затем доверяли собственные лаборатории. Научный результат переходил к следующему поколению вместе с навыком его получения.

Школа Иоффе разветвилась на исследовательские центры. Капица соединил физику низких температур с новой кислородной техникой. Ландау создал теорию и порядок подготовки исследователей. Семёнов превратил изучение химических превращений в самостоятельное направление с собственным институтом и учениками. Вместе эти процессы формировали способность страны разрабатывать то, чего ещё не существовало.

Следующий шаг делал исследователь, увидевший в открытом физическом явлении основу нового устройства. Эту задачу предстояло решать создателям квантовых генераторов, лазеров и полупроводниковых приборов.

«руководством к действию» — так Лифшиц передавал замысел математических учебников Ландау.¹

Требовательность и доступ

Сорок три сдавших теорминимум могут показаться свидетелем чрезмерно узкого отбора. Но число имеет смысл только вместе с назначением экзамена. Ландау готовил самостоятельных теоретиков, а не определял, кому вообще позволено изучать физику. Другая часть истории — возможность любого желающего позвонить и договориться об экзамене. Высокое требование сочеталось с понятным способом предъявить свою подготовку.¹

Эти два условия определяют выбор школы. Если снизить требование, школа перестанет гарантировать уровень. Если закрыть вход по происхождению или знакомству, она потеряет способных людей ещё до проверки знаний. Здесь от человека требовали решить задачу. Для будущего ученика это суровый, но предметный договор.

Лифшиц занимает в нём особое место. Записывая воспоминания об учителе и работая над «Курсом», он делал доступным то, что иначе осталось бы опытом ограниченного круга. Читатель учебника не присутствовал на семинаре Ландау, однако мог пройти через согласованную систему понятий и методов. У школы появился путь к людям, которых её основатель никогда не встречал.^{1, 8}

Позднее появились массовые способы поиска будущих исследователей — олимпиады, интернаты, заочные задания. Они не отменяли строгого профессионального отбора. Они расширяли круг тех, кто получал возможность к нему подготовиться.

Я останавливаюсь на короткой фразе Лифшица о доступе к экзамену. Строгость отбора хорошо видна по сорока трём именам. Открытость входа — по тому, что желающий мог сам позвонить Ландау. Для меня существенны оба условия: высокая планка и возможность к ней подойти. Если оставить только знаменитых выпускников, исчезнет сам поряд-

док, через который незнакомый молодой человек получал шанс. Поэтому эту школу стоит помнить не только по перечню наград, но и по организации первого разговора с будущим учеником.

Как это работало • Зачем теоретику тренировка

Расчёт расходует внимание. Если каждый стандартный математический шаг приходится заново искать в справочнике, на физический смысл задачи остаётся меньше сил. Теоретический минимум проверял владение инструментом достаточно свободное, чтобы им можно было пользоваться в незнакомой ситуации.

Это различие видно и вне физики: узнать знакомую формулу и выбрать подходящую модель — разные действия. В первом случае условие уже подсказало способ решения; во втором ещё нужно понять, какие величины существенны. Учебная задача постепенно должна перестать подсказывать ответ собственным названием. Тогда подготовка становится переходом к самостоятельному исследованию. Именно практическое владение математической техникой выделял Лифшиц в объяснении требований Ландау.¹

Глава 2. Свет, запертый в кристалле

1954–2000 · Москва — Ленинград

Две страницы — 249 и 250 февральского номера ЖЭТФ за 1955 год. На них Николай Басов и Александр Прохоров предложили способ подготовки молекул для квантового генератора: вспомогательное излучение меняет их распределение по энергетическим уровням. Редакция получила статью 1 ноября 1954 года. В Физическом институте имени П. Н. Лебедева Академии наук СССР рождалась трёхуровневая схема накачки — будущий рабочий инструмент квантовой электроники.¹

Физическое основание будущего прибора было известно почти четыре десятилетия. В 1917 году Альберт Эйнштейн описал вынужденное излучение. Возбуждённый атом может отдать энергию под действием падающего излучения; появившийся фотон имеет ту же частоту и распространяется в том же направлении, что и вызвавший его фотон. Возникает возможность усиления: проходящая волна заставляет вещество добавлять к ней энергию.²

Для этого вещество выводят из теплового равновесия. В обычных условиях частицы преимущественно занимают нижние энергетические состояния, и поглощение преобладает над усилением. Физики создавали инверсию населённостей: добивались перевеса частиц на верхнем уровне рабочего перехода. Затем усиление следовало сделать достаточным, чтобы оно покрывало потери энергии в устройстве.

Басов и Прохоров подошли к этой задаче через радиоспектроскопию — исследование молекул по поглощению и испусканию радиоволн. Они добивались более высокого разрешения спектральных линий, использовали молекулярные пучки и деление молекул по энергетическим состояниям. Неоднородное электрическое поле позволяло отби-

рать возбуждённые молекулы. Подготовленный пучок уже мог усиливать излучение.²

Басов и Прохоров в статье 1954 года описали, как пропустить такой пучок через объёмный резонатор. Резонатор удерживает электромагнитное поле; новые молекулы передают ему энергию. Если поступление энергии превышает потери, возникают устойчивые колебания. Спектроскоп, предназначенный для изучения вещества, подводил исследователей к конструкции нового источника излучения.³

«Почему это произошло именно так?» — Александр Прохоров, Нобелевская лекция 1964 года (перевод с английского; вопрос о задержке между предсказанием и созданием приборов).²

В том же году действующий генератор на молекулах аммиака построили в Колумбийском университете Джеймс Гордон, Герберт Цайгер и Чарлз Таунс. Их сообщение поступило в *Physical Review* 5 мая и вышло 1 июля 1954 года. Устройство получило название «мазер» — по начальным буквам английского обозначения усиления микроволн вынужденным излучением. Советская и американская группы независимо разрабатывали одну физическую возможность. Через десять лет, в 1964 году, Нобелевскую премию за основы квантовой электроники получили Басов, Прохоров и Таунс.⁴

Механический отбор молекул ограничивал выбор рабочих веществ и устройство генератора. В следующей работе Басов и Прохоров предложили изменять населённости уровней дополнительным высокочастотным полем. Энергия подводилась на одном переходе, а генерация происходила на другом. В схему вводился третий уровень. Теперь исследователь мог искать подходящие сочетания переходов и способов возбуждения в разных веществах. Накачка стала отдельной управляемой частью прибора.¹

Одновременно расширялся круг материалов. В 1955 году Артур Маненков и Прохоров опубликовали исследование парамагнитного резонанса ионов хрома в корунде. Радио-

спектроскопия переходила от молекулярных пучков к кристаллам. В 1958 году Прохоров предложил для коротких волн открытый резонатор из двух параллельных зеркал. В том же году Артур Шавлов и Таунс подробно рассмотрели зеркальный резонатор для оптического диапазона. Так складывалась конструкция, в которой свет многократно проходил через активное вещество и усиливался.³

Как это работало · Зачем нужны три слоя

В двойной гетероструктуре тонкий активный слой находится между двумя слоями другого состава. Различия их электронных свойств помогают удерживать носители заряда в рабочей области; различие оптических свойств помогает удерживать там же свет. Энергия и излучение сосредотачиваются в малом объёме, где возможно усиление.

Принцип ещё не является технологией. Границы слоёв должны получиться достаточно совершенными, чтобы вместо полезного света энергия не уходила в потери. Поэтому выбор материала, выращивание кристалла и отвод тепла оказываются продолжением теории.^{7, 8, 9}

Первый лазер на рубине Теодор Мейман создал в 1960 году. В его сообщении в *Nature* была указана длина волны излучения — 6943 ангстрема, или 694,3 нанометра: красная область спектра. Активным веществом служил корунд с примесью хрома, а энергию в него вводили оптической накачкой. Между теорией вынужденного излучения и этим опытом лежали десятилетия спектроскопии, работы с кристаллами и освоения способов возбуждения вещества.⁵

Следующий шаг обещал сделать источник света намного компактнее. Полупроводниковый лазер можно было возбуждать электрическим током, подаваемым непосредственно в кристалл. В ФИАНе теоретическая работа над такими генераторами началась в 1957 году. В ней участвовали Басов, Бенцион Вул, Юрий Попов, позднее Олег Крохин. К этому времени полупроводниковая электроника уже располагала методами получения чистых материалов, введения примесей и изготовления р-п-переходов. Лазерная задача опиралась на накопленную технологию.⁶

Электрический ток в полупроводнике доставляет в рабочую область электроны и дырки; последние представляют собой незаполненные электронные состояния. При рекомбинации электронов и дырок энергия может уходить в свет. Лазерная генерация возникает, когда в рабочей области накапливается достаточно носителей заряда и удерживается усиливаемое излучение. Утечка носителей, поглощение света за пределами рабочей области и нагрев повышают необходимый ток. Электрическое питание упрощало конструкцию источника, но предъявляло жёсткие требования к устройству самого кристалла.⁶

Роберт Холл с сотрудниками создал полупроводниковый лазер в 1962 году. Высокий пороговый ток и тепловые потери затрудняли непрерывную работу при комнатной температуре. Перед разработчиками практической аппаратуры стоял именно этот барьер: добиться постоянного излучения без глубокого охлаждения.⁷

«Каждая группа создаёт питательную среду для другой, и потому они не могут существовать друг без друга» — Николай Басов о двух направлениях физики, Нобелевская лекция 1964 года (перевод с английского).⁶

Жорес Алфёров и Рудольф Казаринов предложили в 1963 году в ленинградском Физико-техническом институте лазер на двойной гетероструктуре. Независимо к этой идее пришёл Герберт Крёмер. Тонкий рабочий слой полупроводника помещался между двумя слоями другого состава. Различие энергетических зон создавало барьеры, удерживавшие электроны и дырки в середине структуры. Различие показателей преломления помогало удерживать там же свет. Носители заряда и излучение сосредоточивались в одном малом объёме; ток, при котором начинается генерация, можно было уменьшить.⁷

От кристаллов в ящике стола к работающему прибору

Создавая такую структуру, исследователи совмещали материалы с разными электронными свойствами, но близким строением кристаллической решётки. Дефекты на границах слоёв вызывали потери энергии и снижали эффективность прибора. Первые опыты группы Алфёрова с системой арсенид-фосфид галлия дали генерацию при температуре жидкого азота. К концу 1966 года стало ясно, что несогласованность решёток мешает непрерывной работе при комнатной температуре.⁸

Выход нашёлся в сочетании арсенида галлия с твёрдым раствором арсенидов алюминия и галлия — AlGaAs. Чистый арсенид алюминия разрушался во влажном воздухе, что делало выбор настораживающим. По воспоминанию Алфёрова, Дмитрий Третьяков сообщил ему о кристаллах AlGaAs, которые А. С. Борщевский получил двумя годами ранее и оставил в ящике стола. Они сохранились. Твёрдый раствор оказался химически устойчивым.⁹

Затем исследователи занялись условиями кристаллизации и развитием жидкофазной эпитаксии — выращивания согласованных кристаллических слоёв из раствора-расплава. В 1967 году появилась работа Алфёрова, Вячеслава Андреева, Владимира Королькова, Дмитрия Третьякова и Владимира Тучкевича по гетеропереходам в системе AlAs-GaAs. За фамилиями стояло соединение физики полупроводников с технологией выращивания материала.⁸

Группа Алфёрова в мае 1970 года направила в печать сообщение о непрерывной генерации при комнатной температуре. Соавторами были Андреев, Д. З. Гарбузов, Ю. В. Жилиев, Е. П. Морозов, Е. Л. Портной и В. Г. Трофим. В полосковых лазерах рабочую геометрию формировали фотолитографией; кристаллы устанавливали на покрытые серебром медные теплоотводы. При 300 кельвинах — приблизительно 27 градусах Цельсия — пороговая плотность

тока полосковых образцов составляла 2,7 килоампера на квадратный сантиметр.⁸

Активный слой в приведённой Алфёровым схеме имел толщину около 0,5 микрометра — полмиллионной доли метра. На этом расстоянии разработчики обеспечивали заданный состав вещества, качество границ и прохождение тока. Теоретическая идея удержания носителей превратилась в последовательность технологических операций: вырастить слои, сформировать полосу, сделать контакты, отвести тепло.⁹

Сообщение о независимо достигнутой непрерывной генерации в июне 1970 года направила группа Bell Laboratories — Ицуо Хаяши, Мортон Паниш и их коллеги. Между предложением двойной гетероструктуры и работающим при комнатной температуре лазером прошло семь лет. Две исследовательские группы довели общий принцип до устройства, пригодного для дальнейшего инженерного развития.⁷

Освоенный материал дал несколько направлений применения. В солнечном элементе свет создаёт носители заряда, которые требуется собрать во внешнюю цепь. Гетероструктура позволяла подбирать свойства слоёв под эту задачу. Ленинградскую технологию передали предприятию «Квант»; по свидетельству Алфёрова, с 1974 года солнечные элементы на основе GaAlAs устанавливались на советских спутниках. Позднее они работали на орбитальной станции «Мир».⁹

Так у исследования появлялся производственный адрес. Изготовителю предстояло повторять заданную структуру материала, обеспечивать электрические соединения и собирать элементы в батареи. Научный институт передавал промышленности способ изготовления нового прибора. Космическая программа давала ему конкретную работу: снабжать энергией бортовую аппаратуру в течение полёта.

К концу XX века гетероструктурные лазеры стали источниками света в волоконной связи, проигрывателях компакт-

дисков и считывателях штрихкодов. Транзисторы на гетероструктурах использовались в спутниковых радиоприемниках и базовых станциях мобильной связи. В 2000 году Алфёров и Крёмер разделили половину Нобелевской премии по физике за развитие полупроводниковых гетероструктур; вторую половину получил Джек Килби за участие в изобретении интегральной схемы.¹⁰

За этими устройствами стояла школа, созданная задолго до появления их массового рынка. Радиоспектроскопия ФИАН дала методы управления излучением. Исследования полупроводников в Физтехе — способы управлять движением зарядов и света внутри кристалла. Между статьёй и спутником находились выращивание материала, обработка поверхности, измерения и производство. СССР сумел соединить эти работы в технологию, которую можно было воспроизвести и поставить на службу другой отрасли.

Чего не объясняет Нобелевская премия

Применение гетероструктур на разных рынках имело собственную промышленную историю. Между фундаментальным вкладом и массовым устройством остаются разработка конструкции, оснастка, серийность и обслуживание. Премия отвечает на вопрос о вкладе в знание. Промышленная история — на вопрос, кто и в каком масштабе им воспользовался.

Но этот разрыв не уменьшает содержания самого результата. Удержать свет и носители в тонком слое, вырастить пригодные границы и добиться непрерывного режима — конкретная работа ленинградского коллектива. Её можно оценить независимо от последующей истории проигрывателей или средств связи. Для страны принципиально, сумеет ли она связать такие коллективы с производством раньше, чем созданное ими преимущество будет освоено другими.

Глава 3. Шесть тысяч ламп и первый расчёт

1951–1989 · Киев — Москва — Дубна

Киев. Потолок над МЭСМ

После включения МЭСМ пришлось вскрывать часть потолка: электронные лампы выделяли слишком много тепла. Вычисление уже стало электрическим процессом, но его работу ещё предстояло обеспечить в обычном помещении.¹

25 декабря 1951 года комиссия Академии наук СССР под председательством Мстислава Келдыша приняла в эксплуатацию МЭСМ — малую электронную счётную машину Сергея Алексеевича Лебедева. Около шести тысяч ламп, 60 квадратных метров, потребляемая мощность 25 киловатт и примерно три тысячи операций в минуту. В разработке участвовали Лев Дашевский, Екатерина Шкабара, Соломон Погребинский, Владимир Крайницкий и другие сотрудники киевского Института электротехники.¹

Машина и её программа

Внутри схемы отдельной задачей становилась надёжность каждого узла. Арифметическое устройство, память, ввод данных и управление должны были работать согласованно на протяжении всего расчёта. Ошибка одного элемента могла испортить результат тысяч правильно выполненных действий.¹

Москва в том же декабре получила М-1, созданную в лаборатории Исаака Брука. Среди её разработчиков были Николай Матюхин, Михаил Карцев, Тамара Александриди и Юрий Рогачёв. Советская вычислительная техника начиналась сразу в нескольких коллективах: разные группы самостоятельно осваивали логику машин, электронные схемы и способы хранения чисел.¹

У электронного вычислителя было преимущество, которое меняло сам порядок работы. С арифмометром человек сам брал очередные числа, выполнял действие, переписывал результат и переходил к следующему шагу. ЭВМ хранила программу и промежуточные результаты и могла продолжать расчёт автоматически. Математическая модель получала исполнительный механизм. Инженер мог последовательно просчитывать варианты конструкции и проверять, как изменение исходного параметра влияет на результат.²

«По существу все эти средства оставались лишь инструментами, а не подлинными машинами» — Виктор Глушков, 1982.²

Ракетная траектория, распространение тепла, течение газа, напряжения в детали описывались уравнениями, для которых часто не существовало удобного точного решения. Численные методы позволяли разбить процесс на малые шаги, вычислить состояние на каждом из них, проверить устойчивость и точность. Основную массу повторяющихся арифметических действий брала на себя машина. Работа математика и инженера смещалась к выбору модели, построению алгоритма и оценке полученных данных.

Сергей Соболев, Анатолий Китов и Алексей Ляпунов в 1955 году опубликовали в «Вопросах философии» статью «Основные черты кибернетики». Они связывали три области: теорию информации, электронные вычислительные машины и автоматическое управление с обратной связью. В заключении авторы прямо возражали против необоснованных утверждений о взглядах Норберта Винера, распространившихся в советской печати.³

«Информацией называются сведения о результатах каких-либо событий, которые заранее не были известны» — определяли авторы статьи 1955 года.³

Полемика касалась направления, которое уже имело работающую технику и собственных специалистов. Обратная связь означала практическую вещь: измерить состояние объекта, сопоставить его с требуемым и скорректиро-

вать воздействие. Для промышленности это открывало возможность включить вычислительную машину непосредственно в управление процессом. Данные поступали бы от измерительной аппаратуры, а результаты расчёта использовались для изменения режима работы оборудования.

Как это работало · Конвейер команд

Выполнение команды состоит из стадий. Не обязательно ждать завершения всех стадий одной команды, чтобы подготовить следующую. Если узлы машины могут работать с перекрытием, несколько команд находятся на разных этапах одновременно.

Однако число одновременно занятых стадий и ускорение конкретной задачи — разные величины. Команды зависят друг от друга, данные могут задерживаться, отдельный узел может стать ограничением. Конвейер увеличивает пропускную способность при подходящей организации потока. Его ценность определяется согласованной работой, а не одним количеством параллельных действий. В БЭСМ-6 на разных стадиях могли находиться до четырнадцати команд; устройство описано в источнике⁷.

Полупроводниковая управляющая машина «Днепр» появилась в Киеве в 1961 году. Научным руководителем работы был Виктор Михайлович Глушков, главным конструктором — Борис Николаевич Малиновский. Машину разрабатывали в Вычислительном центре Академии наук УССР, преобразованном в 1962 году в Институт кибернетики. «Днепр» имел 26-разрядное слово, среднее быстродействие около десяти тысяч операций в секунду и потреблял четыре киловатта. Его предназначали для технологических процессов и физических экспериментов.⁴

Особенно нагляден опыт Николаевского судостроительного завода. Группа Владимира Скурихина и Юрия Опрыско переводила изготовление корпусных деталей с вычерчивания на плазе на машинный расчёт контуров. «Днепр» выдавал перфоленту для станка с программным управлением «Авангард». Между расчётом и обработкой металла возникала прямая техническая связь. Позднее в

Николаеве организовали вычислительный центр Министерства судостроения, обслуживавший предприятия отрасли на Украине.⁵

Вместе с внедрением менялась производственная практика. Малиновский вспоминал, что в Днепродзержинске машина несколько лет работала в бессемеровском цехе, однако неупорядоченность технологического процесса мешала получить должный эффект. Приходилось совершенствовать датчики, алгоритмы и обслуживание аппаратуры. В Николаеве руководство завода активно поддерживало разработчиков. Одинаковый класс техники давал разные результаты в зависимости от организации производства.⁵

Другая задача киевской школы состояла в том, чтобы приблизить компьютер к рабочему месту инженера. Название семейства МИР расшифровывалось как «машина для инженерных расчётов». Глушков стремился сделать язык задания вычислений близким к привычной математической записи. В разработке участвовали Юрий Благовещенский, Алексей Летичевский, Соломон Погребинский, Анатолий Стогний. Здесь проектирование аппаратуры шло вместе с разработкой языка и методов решения задач.⁶

Принятая в производство в 1969 году МИР-2 получила дисплей со световым пером и диалоговый режим работы. Язык «Аналитик» позволял выполнять символические математические преобразования. Машина могла работать с формулами, освобождая исследователя от части алгебраических выкладок. Для такого применения решающим показателем становилось время от постановки задачи до полученного результата: насколько просто ввести выражение, исправить его и продолжить расчёт.⁶

Для крупных научных задач школа Лебедева создавала более мощные машины. Разработка БЭСМ-6 завершилась в 1967 году. Её главным конструктором был Лебедев, среди его заместителей — Владимир Мельников, Лев Королёв, Василий Петров и Леонид Теплицкий. Серийное производство на московском заводе счётно-аналитических машин

началось в 1968 году и продолжалось до 1987-го. Было выпущено 355 экземпляров.⁷

БЭСМ-6 выполняла до миллиона команд в секунду. В ней использовались около 60 тысяч транзисторов и 180 тысяч диодов. Разработчики добивались скорости не только совершенствованием отдельных элементов. Они совмещали разные стадии выполнения команд: пока одна команда проходила обработку, другие уже подготавливались. На различных стадиях одновременно могли находиться до четырнадцати команд. Лебедев называл этот способ принципом водопровода; позднее закрепилось название «конвейерная обработка».⁷

Память, арифметическое устройство и управление работали с перекрытием операций, обмениваясь данными через промежуточные буферы. Это уменьшало простои быстрых узлов в ожидании более медленных. Производительность получалась из согласования частей машины. Тот же инженерный принцип действовал на следующем уровне: дорогой вычислитель следовало обеспечить программами, подготовленными задачами и бесперебойным обслуживанием.⁷

Институт точной механики и вычислительной техники в 1969 году выпустил инструкцию «Автокод БЭСМ-6». Её написал Д. Б. Подшивалов; транслятор разработал М. Г. Чайковский при участии Г. В. Назарова. Программист получал символические обозначения операций и адресов, средства поиска ошибок, исправления текста и соединения частей программы. Машинное слово содержало 48 двоичных разрядов и могло вмещать две 24-разрядные команды.⁸

За инструкцией стоял самостоятельный вид инженерного труда. Программист переводил запись человека в команды машины, проверял допустимость операций, находил ошибку и собирал программу из отдельных частей. Отлаженный программный модуль можно было использовать повторно. Вместе с аппаратурой накапливались библиотеки процедур и навыки специалистов, которые сокращали подготовку следующего расчёта.⁸

Для экспериментальной физики имело значение и соединение машин. В 1962 году в Объединённом институте ядерных исследований в Дубне связали компьютеры «Киев» и М-20. Спектрометрическая информация из Лаборатории нейтронной физики поступала по кабелю длиной около километра. Один вычислитель принимал и предварительно обрабатывал данные, другой выполнял дальнейший расчёт. Компьютер становился частью исследовательской установки.⁹

Говорун и работающая машина

Разработкой программного обеспечения в ОИЯИ руководил Николай Николаевич Говорун. Его группа подготовила первую версию транслятора с языка Фортран ещё до поступления БЭСМ-6 в институт в 1968 году. В мониторную систему «Дубна» вошли трансляторы, редактор текстов, средства сборки программ и библиотека общего назначения, совместимая с библиотекой ЦЕРНа. Физик получал доступ к уже накопленным вычислительным методам.⁹

К 1971 году в ОИЯИ создали первую версию собственной операционной системы для БЭСМ-6. Разработанный И. Н. Силиным механизм работы с виртуальной памятью позволял выполнять до трёх пользовательских и четырёх служебных задач. По данным сотрудников института, загрузка центрального процессора достигала 95–99 процентов. Когда одна задача ожидала обмена данными, машина могла обслуживать другую. Это увеличивало полезную отдачу уже установленного оборудования.⁹

Для расширения этой работы институты готовили новых инженеров. 26 ноября 1965 года Совет Министров СССР принял постановление об организации Московского института электронной техники. В 1966 году его ректором стал Леонид Николаевич Преснухин. С 1970 года студенты проходили производственную практику на базовых предприятиях отрасли три полных рабочих дня в неделю. Подготовка специалиста включала длительную работу с настоящим оборудованием и производственными требованиями.¹⁰

На уровне целого предприятия вычисления упирались в устройство информационного обмена. Быстро рассчитать производственную программу недостаточно, если сведения о запасах, выпуске и поставках поступают с задержкой. Переписывание одних и тех же показателей в цехе, заводоуправлении и министерстве сохраняло значительную часть ручной работы. Чем сложнее становились хозяйственные связи, тем дольше службы согласовывали данные.

Глушков поставил задачу перестроить эту технологию управления. К середине 1964 года под его руководством подготовили первый эскизный проект Единой государственной сети вычислительных центров. Впоследствии сеть рассматривалась как техническая основа ОГАС — Общегосударственной автоматизированной системы учёта и обработки информации. В книге «Основы безбумажной информатики», вышедшей в 1982 году, Глушков объяснял значение постоянно обновляемых информационных баз: однажды введённые сведения должны обслуживать множество задач без повторного ручного ввода.²

ОГАС в задуманном общегосударственном масштабе построена не была. Развивались отдельные автоматизированные системы предприятий и отраслей. Разрыв между этими уровнями имел принципиальное значение: автоматизация внутри учреждения ещё не обеспечивала согласованной работы всей экономики. Здесь вычислительная техника встречалась с распределением полномочий, ответственностью за данные и порядком принятия решений.^{2, 11}

Научный институт, конструкторское бюро и заводской цех уже пользовались новой техникой. Станок получал программу обработки детали, физик — результаты машинной обработки измерений, инженер — возможность пересчитать конструкцию до её изготовления. На такой основе можно было браться за проекты с тысячами взаимозависимых параметров. В ракетном двигателе расчёту предстояло встретиться с металлом, температурой, давлением и огневым испытанием.

Машина, которой ещё предстоит найти завод

У ранних компьютеров препятствие часто находилось внутри машины: отказ лампы, недостаток памяти, медленный обмен. Позднее оно могло переместиться за пределы машинного зала. В начале 1980-х документация на М-13 Михаила Карцева уже поступала изготовителям, а серийное производство задерживалось. История М-13 даст возможность проследить эту задержку.

Страна, способная придумать вычислитель, ещё должна обеспечить ему производственную биографию. Между МЭСМ и М-13 выросли целые инженерные коллективы. Тем острее вопрос: почему их накопленного умения иногда оказывалось недостаточно для следующего заказа?

Не следует также терять из истории первых машин Екатерину Шкабару и Тамару Александриди. В приведённых свидетельствах они названы участницами конкретных работ — МЭСМ и М-1.¹ Их профессиональное место находится внутри истории создания вычислителей. Эти имена возвращают разработке её коллективный состав; подробности личного участия устанавливаются по отдельным свидетельствам.

НИИВК — Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов; ЗЭМЗ — Загорский электромеханический завод. Эти два сокращения будут сопровождать историю М-13.

Судьба М-13 · замысел

Проект	Документация	Завод	Поставка	Приёмка
1979: включён в план НИИВК	1980–1982: передача комплектов и фотооригиналов	1983: решение о ЗЭМЗ; 1984: запуск освоения	1986: первые две машины	1991: комплекс на объекте

Это разные рубежи одного проекта.

Интермедия. Когда государство мешало собственной науке

1934–1970 · Москва — Харьков — Казань. Между первой и второй частями.

Капица создавал институт, в котором Ландау мог работать. Затем ему пришлось добиваться, чтобы Ландау вообще вернулся в этот институт. В одном сюжете встретились две формы государственной власти: та, которая обеспечивала исследование, и та, которая прерывала его арестом. Для понимания научной державы существенны обе.

Хронология кабинета-музея Капицы содержит три записи: 28 апреля 1938 года — письмо Сталину в защиту арестованного заведующего теоретическим отделом; 6 апреля 1939-го — обращение к Молотову; 28 апреля — освобождение Ландау под личное поручительство Капицы.¹ Эти записи показывают год, изъятый из научной работы, и действия руководителя, добивавшегося возвращения сотрудника.

Капица располагал профессиональным авторитетом и возможностью обращаться наверх. Такая возможность не была гарантией для каждого исследователя. В нормальной работе института директор отвечает за задачи, оборудование и людей. Когда сохранение сотрудника требует отдельного поручительства перед органами, к научной ответственности добавляется борьба за саму возможность продолжать исследование.

Продолжением этой работы стали теория сверхтекучести, предсказания, экспериментальные проверки, ученики. Документы устанавливают перерыв в научной работе Ландау и вмешательство Капицы, позволившее её возобновить. Объём несостоявшихся исследований остаётся неизвестным. Утраченное время не становится полезным только потому, что последующие результаты оказались велики.

Работать в заключении — отдельный исторический факт

Валентин Глушко был арестован в марте 1938 года, в августе 1939-го получил восемь лет заключения, продолжал конструкторскую работу в специальных бюро НКВД и был досрочно освобождён в 1944 году.² Его история связывает будущую космическую промышленность с принудительной организацией труда инженеров. Эта сторона его биографии предшествует созданию двигателей Р-7 и занимает своё место в истории конструктора.

Специальное бюро позволяло использовать профессиональные знания заключённого конструктора. Это объясняет, как работа продолжалась в условиях лишения свободы. Выполненная разработка свидетельствует о сохранённой квалификации конструктора. Необходимость ареста для получения этого результата потребовала бы отдельного доказательства; удачное изделие его не даёт.

Есть и другое различие: режим секретности и тюремный режим не тождественны. Доступ к оборонной информации можно ограничивать по служебной задаче; лишение свободы меняет положение самого человека. Объединение их одним словом «закрытый» стирает важнейшую часть биографии. Конструктор, работающий над секретным заказом, и конструктор-заключённый могут решать сходные технические задачи, но распоряжаются своей жизнью по-разному.

Для государства потеря специалиста затрагивает и передачу его опыта. Научная школа существует через общение, обучение и выбор следующей темы. Когда её участники перестают свободно взаимодействовать, сам механизм передачи профессионального опыта становится зависимым от внешних разрешений. Военная необходимость может объяснить охрану определённого результата. Полезность каждого ограничения приходится устанавливать по его последствиям для работы.

Август 1948 года. Доклад получает политическое одобрение

Другой вид вмешательства виден в стенографическом отчёте сессии ВАСХНИЛ 1948 года. Открывая заключительное слово, Трофим Лысенко заявил: «ЦК партии рассмотрел мой доклад и одобрил его».³ Это девять слов. Научный спор получил ссылку на высшую политическую инстанцию.

За выступлением последовали кадровые решения. В опубликованном МГУ постановлении Политбюро от 9 августа 1948 года Ивана Шмальгаузена освобождали от заведования кафедрой дарвинизма, Сергея Юдинцева — от обязанностей декана биологического факультета; заведующим кафедрой утверждали Исаака Презента. Приказ министра высшего образования от 23 августа требовал перестроить учебную и исследовательскую работу под мичуринское направление. Изменялись состав кафедр, программы и научные планы.⁴

Это уже не резкая реплика на дискуссии. Изменение научной позиции стало условием продолжения институциональной работы. Ущерб виден в судьбе определённого направления и его исследователей; достижения физики не могут служить единицей его измерения. Достаточно проследить действие решения: преподаватель теряет кафедру, направление — место в учебном плане, ученик — возможность осваивать предмет в прежней исследовательской среде.

Сессию отделяют от кадровых документов разные даты и разные полномочия. Заключительное слово сообщает об одобрении доклада; постановление Политбюро определяет судьбу названных руководителей; министерский приказ распространяет требования на учебную и исследовательскую работу. Именно это соединение делает событие больше, чем выступление одного докладчика.

Сравним этот механизм с проверкой Т-3. Арцимович предъявил результат и согласился на чужой измерительный метод. Спор мог закончиться против него. В 1948 году поли-

тическое одобрение доклада получило кадровое продолжение независимо от такой проверки. Для науки различие принципиально: кто имеет последнее слово — воспроизводимый опыт или орган, распределяющий должности?

Научное сообщество могло отвечать

История кибернетики показывает другую развязку. Статья Сергея Соболева, Анатолия Китова и Алексея Ляпунова «Основные черты кибернетики» вышла в 1955 году. Её авторы разбирали содержание нового направления и возражали против необоснованных утверждений о взглядах Норберта Винера.⁵ Компьютеры тем временем уже создавались. Поэтому формула «кибернетику запретили — вычислительной техники не было» не выдерживает хронологии.

Но наличие МЭСМ также не делает прежние нападки безвредными. Исследователям пришлось отдельно доказывать правомерность общего языка, связывавшего вычисление, информацию и управление. Время уходило на спор, в котором научное содержание следовало освободить от навязанных ему характеристик. Исход зависел и от того, находились ли у направления компетентные и влиятельные защитники.

Глушко затем возглавил большую кооперацию. Глушков добивался полномочий для ОГАС; Побиск Кузнецов потерял ЛаСУРС. Эти случаи различны. Арест, идеологическая кампания, ведомственный спор и ликвидация лаборатории не должны сливаться в одно объяснение. У каждого события есть свой механизм и круг ответственных.

Общий вопрос остаётся строгим: какие действия власти увеличивали возможность научного труда, а какие её сокращали? Достижения СССР не требуют оправдания вредивших науке решений. Напротив, чем выше мы оцениваем созданные школы, тем серьезнее должны относиться к тому, что мешало им работать.

«Автоматика в социалистическом обществе служит для облегчения и повышения производительности труда человека» — писали Соболев, Китов и Ляпунов.³

Три проверки · итог части I

Школа	Производство	Пользователь
Есть: школа передаёт способы исследования.	Есть: приборы и вычислители выходят за пределы первого образца.	Есть: физики и инженеры применяют их в новых задачах.

Оценка относится к описанным случаям, а не к каждой отрасли СССР.

Часть II. Право на полёт

Рулевой привод неподвижной Р-7 получает ложную команду. В спокойном состоянии ракета снова проходит электрическую проверку; при вибрации ошибка возвращается. Испытателям предстоит найти винт в разъёме и изменить порядок крепления.¹

До полёта ещё есть возможность осмотреть соединение и повторить опыт. На этом различии построена работа, о которой пойдёт речь дальше. Двигатель проверяют в определённом режиме, затем соединяют с другими узлами; корабль готовят вместе со средствами управления и возвращения. Исправность каждой части остаётся необходимой, но вся система предъявляет собственные вопросы. Спустя годы экипаж «Салюта-7» будет решать их уже на орбите, пользуясь знаниями наземных служб и сохраняя корабль, на котором можно вернуться домой.

Время: 1957: спутник · 1961: «Восток» · 1978: «Прогресс-1» · 1985: спасение «Салюта-7» · 1988: «Буран».

Три вопроса к этой части: кто учится продолжать исследование? Кто может повторить изделие? Кто пользуется им и возвращает сведения об ошибках?

Глава 4. Тридцать две камеры перед стартом

1929–1989 · Ленинград — Химки — Куйбышев — Воронеж

Тридцать две камеры должны были заработать до того, как ракета оторвётся от земли. На четырёх боковых блоках Р-7 стояло по РД-107 — четыре основные и две рулевые камеры. Центральный блок нёс РД-108 с четырьмя основными и четырьмя рулевыми. Двадцать камер создавали основную тягу, двенадцать меньших управляли полётом. Все пять двигателей включались ещё на старте.¹

За этой схемой стояло решение Валентина Петровича Глушко: распределить тягу между несколькими камерами, связав их общей системой подачи топлива. Такая компоновка позволяла строить мощный двигатель из камер меньшего размера. Но одновременно возникала задача согласовать насосы, трубопроводы, клапаны и горение во всех камерах. Исправность каждого узла по отдельности ещё не обеспечивала исправности всей установки.

Работа Глушко над ракетными двигателями началась в мае 1929 года в ленинградской Газодинамической лаборатории. В 1930-е годы появились опытные моторы серии ОРМ. Двигатель ОРМ-65 предназначался для ракетоплана и крылатой ракеты Сергея Королёва. Одновременно Глушко преподавал: в 1933–1934 годах читал лекции в Военно-воздушной инженерной академии имени Жуковского, затем готовил инженеров на реактивных курсах Осоавиахима. Создание техники сразу сопровождалось подготовкой людей, способных продолжить работу.²

Глушко арестовали в марте 1938 года, в августе 1939-го приговорили к восьми годам заключения. Он продолжал конструкторскую работу в специальных бюро НКВД, в том числе в Казани. В 1944 году был досрочно освобождён. Его профессиональная биография включает и создание государ-

ственной научно-технической школы, и репрессии против её создателей.^{2,3}

Немецкую ракетную технику Глушко изучал в 1945–1946 годах. Послевоенная работа его коллектива продолжилась в Химках, в ОКБ-456. К созданию двигателей для Р-7 здесь подошли с опытом разработки, изготовления и испытаний установок предыдущего поколения. Разработка РД-107 и РД-108 шла в 1954–1957 годах.^{2,4}

ОКБ — опытное конструкторское бюро; его номер обозначал определённую организацию, а не тип двигателя.

Высокая температура и поток газа в сопле — лишь начало устройства жидкостного ракетного двигателя. Система непрерывно подаёт горючее и окислитель, выдерживает их соотношение, отводит тепло от стенок и удерживает горение в устойчивом режиме. Увеличение давления повышает требования к насосам, соединениям и прочности. Уменьшение массы сокращает запас металла, которым можно было бы компенсировать ошибку расчёта. Конструктор одновременно работает с термодинамикой, гидравликой, прочностью и технологией изготовления.

При доводке РД-107 и РД-108 часть горючего направляли к стенкам камеры, создавая защитную завесу. Усиление завесы улучшало защиту и влияло на устойчивость горения, но уменьшало удельный импульс — отдачу двигателя на единицу расходуемого топлива. Для двух двигателей подобрали разные расходы на завесу. Поэтому их камеры, при значительной общности конструкции, различались смесительными головками.⁵

Задача материаловедов выходила за пределы повышения прочности металла. Температуру стенки определяли её толщина, теплопроводность, охлаждение и распределение теплового потока. Изменение одного параметра затрагивало остальные. Слишком тяжёлая камера отнимала полезную нагрузку; недостаточно охлаждаемая разрушалась; чрезмерные затраты на охлаждение снижали энергетическую

эффективность. Работоспособную конструкцию находили в согласовании этих ограничений.

К двигателю подключалась приборная школа. Датчик давления для обратной связи разрабатывало КБ Н. К. Матвеева. Систему регулирования тяги создавали в институте Николая Пилюгина. Системой опорожнения баков занимались КБ А. П. Абрамова и Институт автоматики и телемеханики АН СССР, где работами руководил Борис Петров. Разработчики согласовывали расход компонентов так, чтобы горючее и окислитель вырабатывались одновременно.⁵

Остаток одного компонента после исчерпания другого становился бесполезным грузом. Его уже подняли вместе с ракетой, затратили на это тягу и время, но превратить оставшуюся массу в полезную работу было невозможно. Поэтому точность измерений и регулирования прямо влияла на массу, которую ракета могла доставить к цели. Приборостроение входило в энергетический баланс ракетного комплекса.

Для отработки совместного запуска двигателей построили отдельный стенд. На нём провели несколько тысяч запусков без последующего выхода на основной режим. Затем проверяли двигательные установки в составе отдельных блоков и всего пакета ракеты. Все серийные экземпляры РД-107 и РД-108 было решено подвергать контрольно-технологическому огневому испытанию: оно должно было выявлять опасные отклонения от отработанного производственного процесса.⁵

В 1958 году серийный выпуск двигателей освоил завод имени Фрунзе в Куйбышеве. Конструкторское решение получило вторую опору — предприятие, способное регулярно изготавливать сложную установку. Двигатели этого семейства обеспечили полёт Юрия Гагарина и стали основой силовых установок носителей «Восток», «Восход» и «Союз».⁴

Вместе с чертежами изготовитель получал лишь часть знания об изделии. На заводе готовили оснастку, выстраи-

вали последовательность обработки и сборки, вводили контроль соединений, подбирали измерительные средства и обучали рабочих и мастеров. Допуск на чертеже должен был стать устойчиво воспроизводимым результатом станочной операции. Разбирая обнаруженный на стенде дефект, специалисты находили причину в детали, материале или технологическом переходе, исправляли её и закрепляли изменение в документации. Так опыт отдельного испытания становился правилом для следующих изделий.

Следующее поколение

В 1974 году Глушко возглавил НПО «Энергия». Главным конструктором КБ «Энергомаш» стал Виталий Петрович Радовский, с 1961 года бывший его заместителем по конструкторской части. Радовский пришёл на завод № 456 после окончания Московского авиационного института в 1943 году. Теперь его коллективу предстояло создавать двигатели РД-170 и РД-171 для «Энергии» и «Зенита». Школа Глушко продолжала работать через инженеров, десятилетиями осваивавших всё более сложные задачи.^{2, 6}

РД-170 развивал тягу 740 тонн-сил у земли и 806,4 тонны-сил в вакууме. В четырёх камерах ежесекундно расходовалось около 2,4 тонны кислорода и керосина. Давление составляло 250 килограммов-сил на квадратный сантиметр — примерно 24,5 мегапаскаля. Поэтому насосы подавали компоненты под ещё большим давлением, при котором все элементы тракта сохраняли работоспособность.⁷

Двигатель строился по замкнутой схеме с дожиганием окислительного генераторного газа. Сначала в газогенераторе сжигали часть горючего при большом избытке кислорода. Полученный газ приводил турбину насосного агрегата, затем поступал в основные камеры, где добавлялось горючее. Энергия потока после турбины использовалась в дальнейшем рабочем процессе. Керосин перед поступлением в камеру проходил через её охлаждающий тракт.⁷

Такая схема давала высокую эффективность и одновременно предъявляла жёсткие требования к материалам и изготовлению. Детали турбины и газового тракта работали в горячей, богатой кислородом среде. От материалов и соединений зависели прочность и стойкость поверхностей. Ошибка в выборе материала или качестве изготовления могла перечеркнуть выигрыш, полученный термодинамическим расчётом.

В создании «Энергии» участвовала ещё одна самостоятельная школа двигателестроения. Для её центрального блока воронежское КБ химавтоматики создавало четыре кислородно-водородных РД-0120, каждый тягой 200 тонн-сил в вакууме. Изготовление поручили Воронежскому механическому заводу. Главными конструкторами темы были Г. И. Чурсин и Владимир Рачук.⁸

Работа началась по постановлению от 17 февраля 1976 года. Собственного стенда для огневой доводки такого двигателя у КБХА не было. Первые испытания проводили в НИИхиммаше в Загорске; первоначально стенд позволял работать лишь до четверти номинального режима. Параллельно создавался комплекс НИИМаша в Нижней Салде. К началу 1980 года там подготовили вертикальный стенд для приёма двигателя.⁸

Проект разворачивался сразу в нескольких городах. Конструкторское бюро, серийный завод и испытательные организации должны были согласовать готовность оборудования, поставку изделий и программы проверок. Опоздание стенда задерживало доводку двигателя; меняя двигатель, конструкторы корректировали изготовление и испытания. Государственная программа обеспечивала возможность вести эти работы одновременно, принимая расходы задолго до первого полёта.

За 1978–1989 годы на стендах НИИхиммаша и НИИМаша провели 812 огневых испытаний РД-0120 с суммарной наработкой 163 608 секунд — более 45 часов. «Энергия» стартовала 15 мая 1987 года, а 15 ноября 1988-го

вывела «Буран». За двумя полётами стояла многолетняя работа над двигателями, их производством и наземной отработкой.⁸

История от РД-107 до РД-170 показывает, что научно-техническая самостоятельность состоит из вполне определённых возможностей: рассчитать двигатель, получить материалы с заданными свойствами, изготовить детали, собрать установку, испытать её и повторить всё это для следующего экземпляра. Каждый этап имеет собственных специалистов и собственное оборудование. Потеря одного звена ограничивает возможности остальных, даже если чертежи сохранены полностью.

Чертежи двигателя можно хранить в одном архиве. Способность изготовить следующий экземпляр распределена между десятками коллективов. Пока они умеют работать вместе, у проекта есть продолжение.

Как это работало · Почему двигателю нужен мощный насос

В камере сгорания поддерживается высокое давление. Чтобы жидкость поступала внутрь, система подачи должна создать ещё больший напор с учётом потерь по пути. Поэтому двигатель включает не только камеру и сопло: насосы, турбина, арматура и трубопроводы участвуют в его работе как согласованный комплекс.

Расход растёт вместе с требуемой тягой, а насос должен подавать компоненты устойчиво. Работа одного узла изменяет условия другого. Это объясняет, почему конструктор не может оценивать камеру отдельно от подачи и управления. Значения тяги и давления в описанных двигателях относятся к результату всего комплекса.

Глава 5. Винт, который мог погубить ракету

1950-е-1988 · Загорск — Байконур — Жуковский

Под Загорском, 1950-е. Ложная команда неподвижной ракете

Р-7 оставалась на земле, а её рулевые приводы при вибрации получали ложные сигналы. Владимир Ефимович Кондратов вспоминал: «При спокойном состоянии ракеты многократные проверки необходимых результатов не давали».¹

Несколько суток искали причину. В разъёме между боковым и центральным блоками оказался недотянутый винт: при колебаниях он замыкал соседние контакты. Неподвижное соединение проходило проверку; вибрация превращала крепёж в источник команды.

После обнаружения дефекта винты стали контрить специальной краской. Испытатели изменили операцию сборки для следующих ракет. Найденная причина вошла в производственный порядок — одной исправленной ракетой работа не закончилась.¹

Отказ на стыке устройств

Загорские испытатели при отработке кислородной системы Р-7 столкнулись с гидроударами в трубопроводе окислителя. На экспериментальной установке проверили способы борьбы с ними и рекомендовали циркуляцию жидкого кислорода. Стенд позволял изменять условия, повторять опыт и сопоставлять результаты. Причину опасного поведения системы искали до отправки ракеты в полёт.¹

Другой испытатель, Юрий Фёдорович Валов, описал остановку двигателя блока «А» ракеты ГР-1 через 3,5 секунды после запуска. Не сработал пиропатрон клапана горючего: команда до него не дошла. Проверка выявила ошибку в разработанной испытателями схеме, которую не

сверили с бортовой схемой ОКБ-1. Автоматика остановила двигатель из-за недостаточного давления в газогенераторе.¹

Теперь испытатели проверяли собственную аппаратуру. Между исправным двигателем и исправным пультом существовали кабельные соединения, согласование команд и порядок переключений. Каждый участник мог подтвердить работоспособность своей части, а собранный комплекс оставался неработоспособным. Поэтому испытатели должны были знать устройство изделия достаточно глубоко, чтобы отделить ошибку стенда от ошибки ракеты.

За словом «испытание» стояли разные работы. При проверке прочности конструкцию нагружали; при тепловой — воспроизводили нагрев и охлаждение; при вибрационной — колебания; при огневой — работу двигательной установки. Холодная проверка магистралей показывала их герметичность и порядок подачи компонентов. Работа под нагрузкой могла выявить деформацию, утечку или нарушение контакта, которых прежде не было. Программа должна была охватывать переходы между режимами: включение, выход на заданную мощность, изменение нагрузки и выключение.

Особенно дорогим оказывалось испытание крупного изделия в сборе. В состав стенда входили сооружения, системы заправки, электропитание, измерительная аппаратура, средства отвода продуктов сгорания и защиты персонала. Эти расходы возникали ещё до получения готовой ракеты. Стенд занимал самостоятельное место в плане строительства и финансирования проекта. Сокращение его программы обещало сэкономить время и деньги, но оставляло часть взаимодействий непроверенной.

Как это работало · Почему исправный узел не гарантирует исправной системы

Проверка двигателя подтверждает его поведение при определённых условиях подачи компонентов, питания и управления. В составе ракеты к нему добавляются другие трубопроводы, кабели, нагрузки и последовательности включения.

Даже если каждое устройство прошло собственную проверку,

их взаимодействие может создать условие, которого на отдельном стенде не было.

Поэтому уровни испытаний не дублируют друг друга: они задают разные вопросы. Проверка узла ищет его дефекты; проверка сборки — в том числе дефекты соединения. Случаи Р-7 и ГР-1 в источнике¹ показывают, как неисправность возникает на таком переходе.

Ступень, оставшаяся без стенда

Такой спор сопровождал создание лунной ракеты Н-1. Заместитель Сергея Королёва по испытаниям Леонид Александрович Воскресенский настаивал на полномасштабной огневой проверке ступеней. Его поддерживал директор испытательного института в Загорске Глеб Максимович Табаков. Борис Черток вспоминал, что пункт о строительстве стенда для первой ступени исключили из проекта постановления с согласия Королёва.²

Препятствием были размеры ракеты. Первую ступень нельзя было доставить на существующую базу под Загорском обычным порядком. Её предстояло собирать на космодроме. Значит, там же следовало строить мощный огневой стенд либо совмещать его со стартовой позицией. Альтернатива — создавать ещё одно производство возле испытательной базы. Королёв рассчитывал сократить объём дорогостоящего строительства, опираясь на испытания отдельных двигателей.²

Четыре пуска Н-1 состоялись с 1969 по 1972 год. Все закончились авариями. Василий Мишин, руководивший работами после смерти Королёва, впоследствии признал неудачный результат этих испытаний.³ Отдельно проверенный двигатель ещё не подтверждал работоспособность всей ступени с её трубопроводами, кабельной сетью, автоматикой и нагрузками. Отсутствие полноценного стенда перенесило проверку их совместной работы на полёт.

При наземном испытании исследователь располагал большим числом измерительных каналов и возможностью

осмотреть изделие после остановки. При аварии в полёте часть аппаратуры и следов разрушения терялась. Следующую проверку проводили уже на другой ракете. Экономия на экспериментальной базе могла обернуться расходом лётных изделий и времени на восстановление картины отказа. Именно поэтому ценность стенда определялась тем, сколько неизвестного о поведении изделия он позволял выяснить до пуска.

При создании «Энергии» приняли программу всесторонней наземной отработки — от узлов и агрегатов до блоков и ракеты в целом. Главный конструктор комплекса Борис Иванович Губанов сообщал в 1989 году о более чем 200 экспериментальных установках и 34 крупногабаритных конструктивных системах, созданных для этой работы. На Байконуре построили универсальный комплекс «стенд-старт». Разработчики рассчитывали подготовить систему к эксплуатации при небольшом числе лётных испытаний.⁴

Разработчики системы управления «Энергии» проанализировали более 500 вариантов аварийных ситуаций и разработали алгоритмы реакции на них. Резервирование охватывало элементы аппаратуры и крупные узлы. Средства аварийной защиты должны были обнаружить неисправность двигателя и своевременно отключить его.⁴

Запасной прибор сам по себе не решал задачу. Следовало установить, какой из каналов выдаёт неверный результат, когда переключаться на резерв и что произойдёт во время переключения. Ошибочная команда защиты могла остановить исправный агрегат; запоздалая — позволить разрушению распространиться дальше. Испытатели проверяли такую защиту и при нормальном ходе работы, и при возможных отказах. Надёжность включала способность распознать неисправность и ограничить её последствия.

Посадка без второго круга

Создатели «Бурана» объединяли опыт ракетчиков и авиационных испытателей. НПО «Молния» возглавлял Глеб

Евгеньевич Лозино-Лозинский. В ЦАГИ и СибНИА проводили теплопрочностные испытания: конструкция должна была выдерживать нагрузки при нагреве, сопровождавшем возвращение в атмосферу. В Лётно-исследовательском институте отрабатывали управление и посадку. Среди руководителей этих работ были Армен Манучаров, Леонид Берестов и Арсений Миронов.⁵

Путь к автоматической посадке состоял из нескольких ступеней. Сначала самолёты-лаборатории МиГ-25 и Ту-134 проверяли наземное оборудование, пролетая над ним по заданным траекториям. Затем использовали Ту-154 с частью аппаратуры орбитального корабля. После этого испытания продолжили на полноразмерном аналоге БТС-02. Четыре турбореактивных двигателя позволяли ему самостоятельно взлетать с аэродрома и повторять заходы на посадку.⁶

Аналог пилотировали Игорь Волк, Анатолий Левченко, Римантас Станкявичюс, Александр Щукин.⁵ Их работа позволяла сопоставлять поведение реальной машины с расчётами и показаниями приборов. Будущая автоматическая посадка зависела от труда лётчиков, которые проверяли её элементы в атмосфере. Безмоторный заход орбитального корабля после возвращения из космоса не оставлял возможности добавить тягу и исправить ошибку повторным кругом.

15 ноября 1988 года «Буран» совершил два витка вокруг Земли и сел на Байконуре без экипажа. Автоматика выполнила орбитальный полёт, спуск и посадку. Это был первый и единственный космический полёт корабля.⁶ Он подтвердил возможность выполнить сложную программу в реальных условиях. Для превращения её в регулярную эксплуатацию предстояло накапливать опыт повторных полётов, обслуживания и восстановления техники.

Результат испытательной работы сохранялся в изменённой конструкции, уточнённом расчёте, производственной инструкции и программе контроля. Обнаружив кратковре-

менный скачок давления, конструкторы могли переделать магистраль. Повторяющееся повреждение — изменить материал или технологию соединения. Несогласованная команда — пересмотреть взаимодействие бортовой аппаратуры со стендом. Опыт приобретал практическую ценность, когда его можно было применить при изготовлении и проверке следующего изделия.

Испытательные институты создавали для промышленности именно эту возможность. Их специалисты годами сопоставляли расчёт с поведением металла, электроники и автоматики. Они знали, какие признаки предшествуют отказу, какими измерениями его обнаружить и в каких условиях воспроизвести. Сохранённый стенд без такого коллектива терял значительную часть своей ценности.

Винт в разъёме Р-7, несогласованная схема ГР-1, спор о первой ступени Н-1 и подготовка автоматической посадки «Бурана» показывают разные уровни одной работы. Право на полёт складывалось из обнаруженных дефектов, выполненных исправлений и повторных проверок. Когда изделие выходило на орбиту, за ним стояли тысячи решений, уже проверенных на земле. Там, в космосе, всем этим решениям предстояло работать вместе.

Что именно доказывает неудача Н-1

Простой приговор звучал бы так: не построили стенд — поэтому потеряли четыре ракеты. Но он обещает знать больше, чем позволяет приведённая история. Полномасштабное испытание могло обнаружить часть дефектов совместной работы; оно не давало гарантии успешного лунного полёта. Точный вывод строже: сознательно оставили непроверенным на земле уровень, на котором отдельные исправные устройства становились одной ступенью.

С точки зрения руководителя проекта решение касалось не только стоимости сооружения. Оно определяло, где будут впервые наблюдать опасное взаимодействие: на площадке, допускающей повторный опыт и осмотр, или в

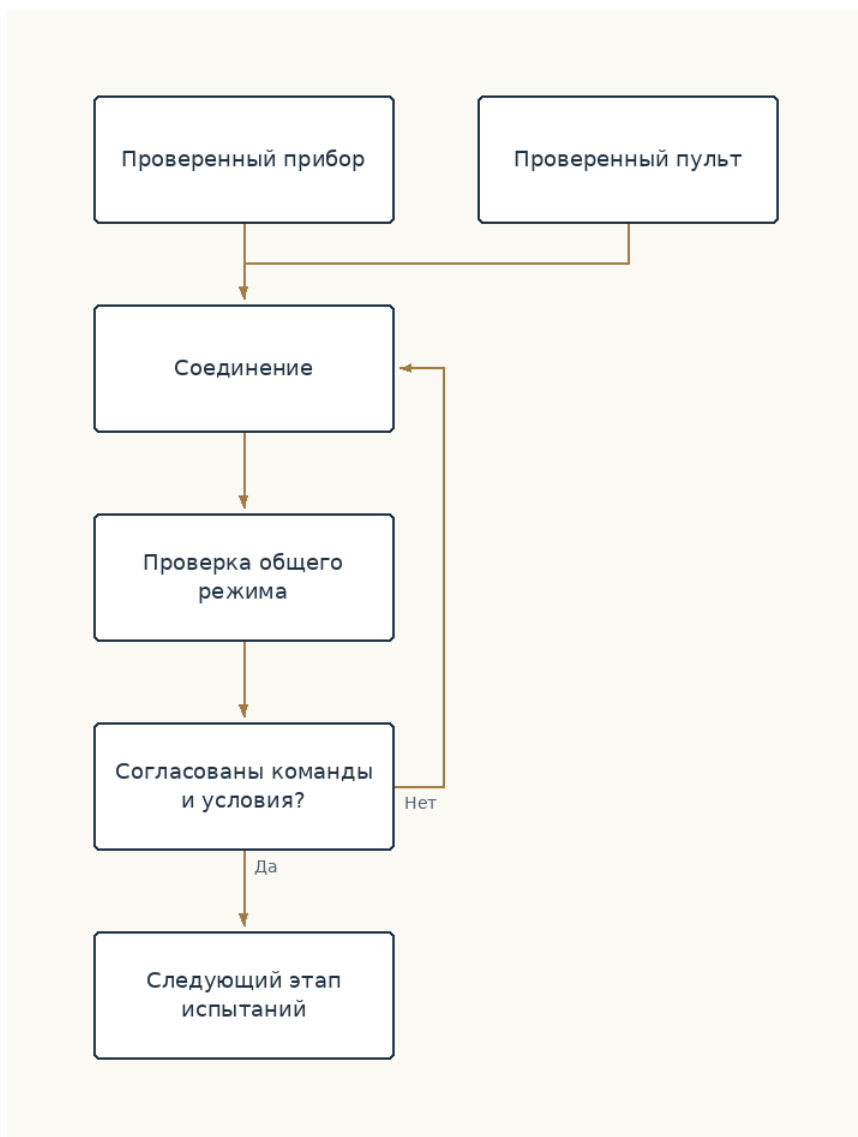
полёте. В расчёт входили и цена техники, и сроки повторной подготовки. После аварии специалисты разбирают её причины, готовят новое изделие и новый пуск; к прямым расходам добавляется календарное время.

Кондратов находил винт в разьёме, Валов — ошибку собственной испытательной схемы. Их профессиональная ценность заключалась в способности признать несоответствие там, где проверка уже считалась выполненной. Для организации это неудобный результат: появляются переделки, сдвигается срок. Для ракеты это шанс не встретиться с тем же дефектом в воздухе.

Поэтому испытатель — участник решения о готовности, а не человек, обязанный подтвердить расчёт конструктора. Его сообщение о неисправности должно менять изделие. Если плохая новость только портит отчёт, проверка теряет своё производственное назначение.

Единственный полёт «Бурана» показывает другую границу вывода. Он подтвердил исполнение сложной программы в реальных условиях. Вопросы частоты будущих полётов, расходов на обслуживание и оправданности всей программы этим одним событием не закрывались. Доказанный технический результат следует сохранить именно в его сильном и точном виде.

Схема. Где возникает неисправность при сборке



От испытания отдельного узла переходят к проверке сборки; обнаруженный дефект возвращает изделие на исправление и повторную проверку.

Аналитическая схема по эпизодам Р-7 и ГР-1.

«Можем не выключить» — так Юрий Валов ответил во время огневого испытания на предложение подать воду на изделие.¹

Ошибка, после которой человек не возвращается

В тех же воспоминаниях НИИХИММАШ, где неисправный разъём в конце концов находят, Глеб Табаков рассказывал о другом исходе. После очистки кислородных ёмкостей при проверке системы произошёл взрыв. Погибли три инженера и два механика. Табаков связывал аварию с оставшимся в системе бензином и описывал последовавшее разбирательство.¹ Это свидетельство руководителя института; его следует читать с учётом собственной ответственности автора, а не превращать в обезличенную легенду об опасной профессии.

24 октября 1960 года на Байконуре при подготовке первого испытательного пуска Р-16 преждевременно заработал двигатель второй ступени. Катастрофа унесла жизни людей, находившихся у ракеты.⁸ 24 апреля 1967 года при возвращении «Союза-1» погиб Владимир Комаров: парашютная система не обеспечила безопасного спуска. Старт состоялся накануне.⁷

Три эпизода относятся к разным изделиям и разным неисправностям. Их объединяет положение человека внутри технического решения. Для него поздно исправленный дефект может оказаться последним. Остановка испытания отнимает время у графика; продолжение с неустранимой опасностью может отнять жизнь.

Я считаю неверным записывать погибших в неизбежные расходы прогресса. Такая формула задним числом освобождает от главного вопроса: какое опасное условие можно было обнаружить и устранить до команды на продолжение? История испытаний ценна именно разбором этого вопроса. Подвиг человека и ответственность руководителя здесь существуют одновременно. Чем значительнее задача, тем важнее право специалиста остановить работу, когда оснований для безопасного продолжения недостаточно.

Право на полёт начинается с права сказать: сегодня пуска не будет.

Глава 6. Сто восемь минут общей работы

1957–1961 · предприятия СССР — Байконур — измерительные пункты

4 октября 1957 года. Сигнал с орбиты

Шар диаметром 58 сантиметров и массой 83,6 килограмма вышел на орбиту. Один оборот вокруг Земли занимал около 98 минут. Первый спутник должен был не только отделиться от ракеты, но и сообщить о своём полёте: его радиосигнал становился результатом, доступным наблюдателю на Земле.¹

Внутри работала радиостанция Д-200, созданная в НИИ-885 под руководством Михаила Борисенко. Два передатчика вместе с коммутирующим устройством весили около семи килограммов. Разработку вели в январе — марте, конструирование и рабочие чертежи завершали в марте — апреле 1957 года. В требования заранее включили приём сигналов радиолюбителями.³

Чтобы эти передатчики оказались над Землёй, двигатели, управление, бортовые приборы и стартовое оборудование должны были отработать в согласованном порядке. До отделения спутника каждый участник отвечал за свою часть общего результата. После выведения к работе создателей подключались приёмники, находившиеся далеко за пределами полигона.

Радионаблюдения предназначались и для изучения распространения волн в ионосфере. У простого по устройству аппарата была определённая программа измерений. Способ его наблюдения выбрали ещё на Земле, и теперь он позволял следить за движением спутника.³

За сигналом стояли двигателисты, приборостроители, радиотехники, баллистики, строители стартового комплекса и военные расчёты. Их совместная работа завершилась выведением первого искусственного спутника Земли.

Собранный аппарат перешёл из рук изготовителей к тем, кто принимал его сигнал.

Кто согласовывал полёт

Такое согласование начиналось задолго до сборки ракеты. Двигатель задавал тягу, расход топлива и нагрузки. Система управления должна была учитывать изменение массы, колебания конструкции и движение жидкости в баках. Наземное оборудование — заправить ракету, удерживать её на старте, подвести электрические соединения и освободить в заданной последовательности. Каждая из этих задач имела собственную конструкторскую логику. Ошибка возникала и тогда, когда отдельные устройства были исправны, но требования к их совместной работе расходились.

Организационным ответом стал Совет главных конструкторов. Сергей Королёв отвечал за ракету и общее согласование работ; Валентин Глушко — за двигатели; Николай Пилюгин — за автономное управление; Михаил Рязанский — за радионавигацию и радиоуправление; Виктор Кузнецов — за гироскопические командные приборы; Владимир Бармин — за наземное заправочное, транспортное и стартовое оборудование. Борис Черток, описывая этот круг руководителей, подчёркивал связь их разработок с научными учреждениями и промышленностью страны.²

Разделение ответственности позволяло обсуждать последствия решения сразу с теми, кому предстояло его осуществлять. Увеличение массы прибора затрагивало баллистический расчёт; изменение режима двигателя — управление; перенос разъёма — конструкцию и наземное обслуживание. Работа главного конструктора состояла в том числе в выборе допустимого компромисса между такими требованиями. За каждым согласованным параметром оставались конкретный коллектив, комплект чертежей и обязательство изготовить работоспособное изделие.

Таким образом, способ наблюдения за спутником определял его устройство ещё на Земле. Радиосигнал связывал бортовую аппаратуру с многочисленными приёмниками за пределами полигона. Результат запуска становился наблюдаемым независимо от сообщения о нём. Простота спутника была совместима с большим техническим содержанием задачи: вывести аппарат на орбиту, обеспечить питание передатчиков и принять их сигналы после отделения от ракеты.

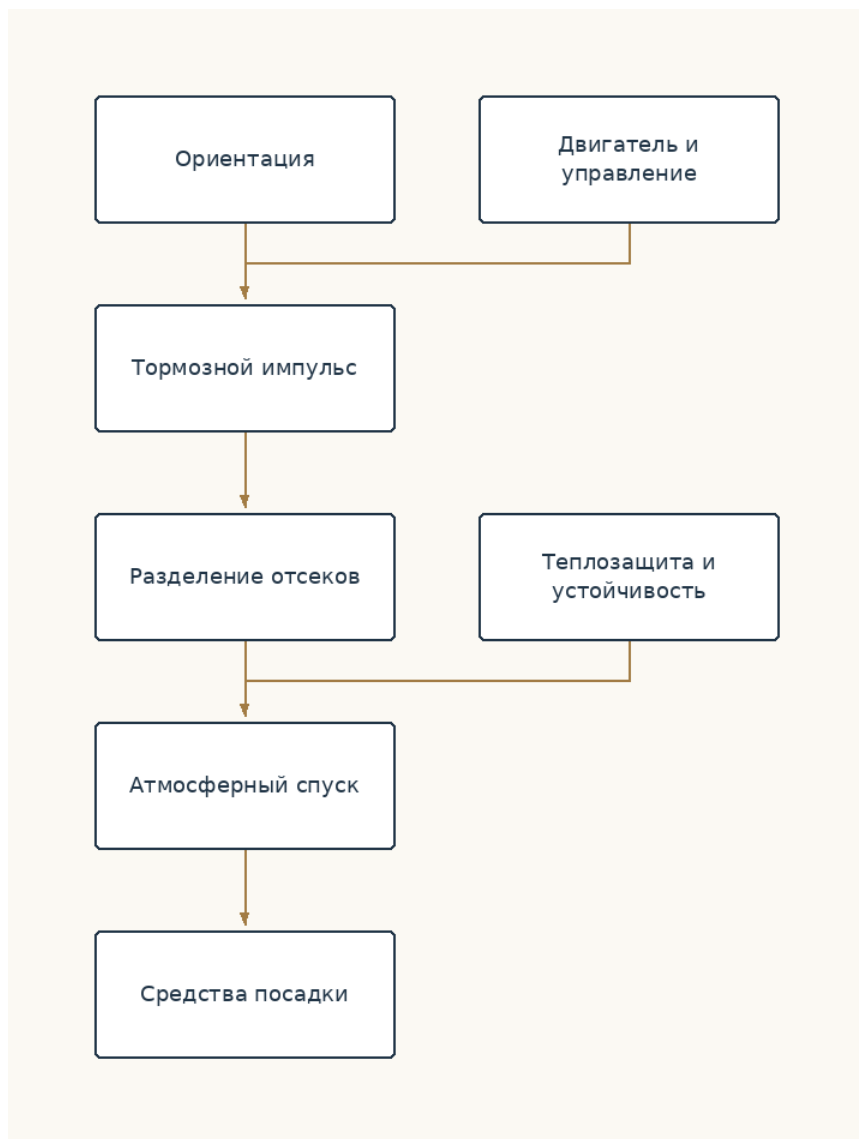
Тринадцать точек на Земле

Одновременно создавали наземную организацию сопровождения полётов. 8 мая 1957 года началось формирование Командно-измерительного комплекса. В первоначальную структуру вошли центр координации, научно-координационная вычислительная часть, узел связи и предусмотренные проектом тринадцать научно-измерительных пунктов. С мая по сентябрь личный состав и техника направлялись к местам дислокации. Центр и вычислительная часть размещались на базе НИИ-4 Министерства обороны; первым начальником центра стал генерал-майор А. А. Витрук.⁴

Измерительная сеть решала задачу, которой не существовало в пределах одного завода. Аппарат проходил над разными районами страны, а специалисты соединяли результаты наблюдений в единую картину движения. Они согласовывали время наблюдений и связывали пункты с вычислительной обработкой. Космический комплекс уже в 1957 году представлял собой территориально распределённую техническую систему. Его работоспособность зависела и от людей, которые никогда не присутствовали при сборке спутника.

Теперь человека предстоит вернуть

Схема. Возвращение требует согласованных систем



Полёт «Востока» обеспечивают согласованные ракета, корабль, управление, связь и средства возвращения.

Укрупнённая последовательность, не циклограмма управления.

Переход к «Востоку» резко расширил эту кооперацию. Теперь на орбиту предстояло вывести человека и вернуть его живым. Корабль получил спускаемый аппарат и приборный отсек с тормозной двигательной установкой. Внутри системы поддерживали пригодную для дыхания атмосферу, отводили тепло, передавали показания приборов и голос космонавта. При возвращении системы должны были последовательно сориентировать корабль, затормозить его, разделить отсеки и обеспечить спуск.⁵

Константин Феоктистов в «Траектории жизни» описал спор, показывающий, как общая компоновка зависела от возможностей смежников. Он предлагал сделать приборный отсек негерметичным. Заместитель Михаила Тихонравова Рязанов возражал: для такого решения потребуются приборы, способные работать в вакууме, а их создание и доводка займут дополнительное время. Отсек сделали герметичным. Позднее Феоктистов признал правоту возражений: особенно существенной оказалась проблема отвода тепла от аппаратуры.⁶

Герметичный отсек позволял использовать привычные условия работы приборов и вентиляционный теплообмен внутри него. Облегчение оболочки при отказе от герметизации пришлось бы оплачивать изменением аппаратуры и её испытаний. Конструкторское решение определяло объём новой работы сразу для нескольких организаций — и через него срок готовности всего корабля.

Распределение задач можно восстановить по оборудованию «Востока». Систему жизнеобеспечения создавало ОКБ-124 под руководством Г. И. Воронина. За переговорную радиосистему «Заря» отвечал НИИ-695, которым руководил Леонид Гусев. Аппаратуру траекторных измерений «Рубин» и телеметрию «Трал П1» разрабатывало ОКБ Московского энергетического института Александра Богомолова. Командная радиолиния НИИ-648 Армена Мнацаканяна обеспечивала приём 63 управляющих команд. Спасательный скафандр СК-1 изготовлял завод № 918 под руководством Семёна Алексеева.⁵

Это распределение объясняет, почему выражение «корабль Королёва» требует расшифровки. ОКБ-1 соединяло в единую конструкцию результаты нескольких самостоятельных инженерных школ. Радиотехник должен был знать допустимые массу и энергопотребление своего прибора; разработчик жизнеобеспечения — объём кабины и тепловыделение; создатель скафандра — условия пребывания человека в кресле и покидания корабля. Согласовывались параметры изделий, принадлежавших разным предприятиям.

Тормозной импульс — начало возвращения

Возвращение обеспечивала тормозная установка ТДУ-1 коллектива Алексея Исаева. Его двигательное подразделение в 1948 году вошло в НИИ-88, где на его основе создали ОКБ-2; в 1959 году бюро стало самостоятельной организацией.⁷ В космическом полёте двигатель решал задачу снижения орбитальной скорости. Однако тормозной импульс обеспечивал посадку лишь при правильном направлении тяги и точно выбранном моменте включения.

Феоктистов вспоминал, что к системе ориентации добавили резервный вариант по Солнцу. Для его использования время старта и положение орбиты подбирались так, чтобы солнечный датчик позволял выставить корабль для торможения. Здесь баллистическое решение упрощало приборную задачу: требуемую геометрию заранее закладывали в программу полёта.⁶

Посадку тоже согласовывали с возможностями уже освоенной техники. Космонавт катапультировался примерно на высоте семи километров и спускался на собственном парашюте; спускаемый аппарат приземлялся отдельно. По объяснению Феоктистова, мягкая посадка человека внутри аппарата потребовала бы увеличения парашютной системы либо разработки и отработки парашютно-реактивного торможения. Для первого корабля выбрали отдельное приземление.⁶

12 апреля 1961 года Юрий Гагарин совершил первый полёт человека вокруг Земли. Полёт продолжался 108 минут.⁸ За это время совместно сработало оборудование, созданное коллективами Королёва, Исаева, Воронина, Гусева, Богомолова, Алексеева и других руководителей. Результатом кооперации стало выполненное задание целиком: выведение, пребывание человека в космосе и возвращение.

Первые 108 минут были завершены. Следующая задача измерялась уже месяцами: поддерживать работу людей и техники, которые оставались на орбите.

Как это работало · Орбита и возвращение

Аппарат на орбите движется под действием притяжения Земли. Его траектория проходит над поверхностью благодаря сочетанию положения и скорости. Для возвращения тормозная установка меняет траекторию так, чтобы аппарат вошёл в атмосферу в предусмотренных условиях.

Тормозная установка поэтому выполняет только свою часть работы. После изменения скорости должны правильно пройти разделение отсеков, ориентация и атмосферный спуск. Прочность, теплозащита и средства посадки относятся к другим этапам. Хорошо выполненный тормозной импульс ещё оставляет впереди всю последовательность возвращения. Эта зависимость объясняет объём кооперации «Востока», описанный в источниках главы.

Глава 7. Вернуть свет на «Салют-7»

1978–2001 · орбита Земли — Центр управления полётами

8–16 июня 1985 года. Вернуть свет и сохранить путь домой

Из восьми аккумуляторных блоков «Салюта-7» два пришлось исключить. Владимир Джанибеков и Виктор Савиных прозвонили цепи и решили заряжать остальные непосредственно от солнечных батарей. Для этого изготовили кабель из шестнадцати проводов. Рядом оставался «Союз» — корабль возвращения. Повредить его электропитание означало поставить под угрозу путь домой.⁵

8 июня. Экипаж состыковался с обесточенной станцией. Внутри не работали освещение и вентиляторы, замёрзла вода. «Никакой реакции», — доложил Савиных. Вместо штатной работы началось обследование: какие цепи целы, какие аккумуляторы пригодны, откуда получить энергию. Стыковка дала доступ к оборудованию; состояние этого оборудования определяло каждое следующее действие.

На Земле неисправный блок можно снять, перенести в лабораторию, позвать специалиста по отдельному узлу. Здесь измерения и монтаж выполняли два человека. Наземные специалисты получали их сообщения и разрабатывали порядок операций. Они могли предложить проверку, но провести её и сообщить результат предстояло экипажу. Связь соединяла знания большой группы с руками тех, кто находился на станции.

Для зарядки солнечная панель должна была получить свет. Системой управления «Союза» разворачивали связку. Корабль помогал станции и одновременно оставался единственным средством возвращения. Исполнитель был и ремонтником, и человеком, зависевшим от сохранности

другого аппарата. Выбор операции определялся двумя задачами: вернуть станцию в работу и сохранить путь домой.

10 июня. Началась зарядка первого блока. Между двумя аппаратами соединяли исправные части системы с теми, которые только предстояло восстановить. Кабель из шестнадцати проводов обеспечивал конкретную операцию. До неё космонавты проверили цепи и исключили непригодные блоки; после неё можно было переходить к включению аппаратуры.⁵

Одно соединение ещё не возвращало освещение, управление и тепло одновременно. Станцию обследовали по частям. В такой работе особенно опасно принять первый успех за исправность всего комплекса: следующий потребитель мог оставаться повреждённым, хотя источник уже снова давал энергию. Порядок ремонта складывался из результатов отдельных проверок.

11 июня. Удалось включить свет. «Совсем другая жизнь!» — записал Савиных. Ещё одна его запись об этом дне: «Мы работали не считаясь со временем, подчас забывая о нем». Теперь за первым результатом следовали управление, тепло и вода. Освещение позволяло продолжать ремонт; оно само по себе не устраняло последствия заморозания.⁵

У экипажа оставался вопрос, который Савиных связывал с водой и электропитанием: «Остаемся или нет?» Возможность жить и работать на станции складывалась из вполне определённых исправных устройств. После стыковки люди получили доступ внутрь; после включения света — условия для следующей работы. Каждый достигнутый рубеж открывал новую задачу.

К 16 июня. Установили исправную аппаратуру командной радиолинии. На станции появились свет и тепло, начала оттаивать вода в «Роднике». Но устройство её задачи и подогрева оказалось повреждено заморозанием. После восстановленного электропитания экипаж получил следующую задачу — вернуть водоснабжение.⁵

За этими днями видна последовательность действий: осмотр, измерение, выбор пригодного оборудования, переделка соединения, включение и новая проверка. Космонавты работали с аппаратурой, для которой штатный автоматический порядок уже не действовал. Инженерное знание проверялось возможностью выполнить операцию на месте, а результат возвращался наземной группе сообщением о состоянии станции.

После каждого включения менялся и предмет следующей проверки. Сначала экипаж искал источник энергии; затем проверял, что эта энергия позволяет запустить. Радиолиния возвращала управление, тепло начинало отогревать системы, вода обнаруживала повреждение собственного устройства. Именно эта зависимость одного действия от другого растянула восстановление на дни. Исправленный провод открывал следующий участок работы, а не завершал весь ремонт.

Свет уже горел. Вода оттаивала. Станция оживала по частям.

От спасения к снабжению

Чтобы понять, откуда взялась возможность такого спасения, вернёмся на семь лет назад — к первому грузовому кораблю.

Второй причал

22 января 1978 года к «Салюту-6» автоматически пристыковался «Прогресс-1». На станции работали Юрий Романенко и Георгий Гречко. Грузовой корабль привёз продовольствие, запасные части, научную аппаратуру и компоненты топлива. В начале февраля он дозаправил станцию, затем собственными двигателями поднял её орбиту. Перед расстыковкой космонавты загрузили в него отходы и ненужное оборудование. Один полёт соединил снабжение, заправку, буксировку и удаление отработавших изделий.^{1, 2}

Для этого станцию пришлось проектировать иначе. «Салют-6» массой 19 830 килограммов получил два стыковочных узла. Один мог занимать «Союз», на котором экипаж должен был вернуться домой; второй оставался доступным для грузового корабля или экспедиции посещения. Объединённая двигательная установка станции имела общие для разных двигателей топливные баки и допускала дозаправку в полёте. Запас топлива переставал быть величиной, окончательно заданной при старте.³

Второй причал менял всю организацию экспедиции. К работающему экипажу можно было доставить новый прибор, сменный блок или дополнительный запас расходных материалов. Исследования можно было продолжать без запуска новой станции при каждой доставке груза. На орбите сохранялись её корпус, энергетика, рабочие места и значительная часть оборудования, а транспортная система восполняла то, что расходовалось или выходило из строя.

Как это работало · Что изменил второй стыковочный узел

Если единственный причал занят кораблём возвращения, принять одновременно грузовик нельзя. Второй узел позволяет сохранить «Союз» у станции и получить снабжение. После разгрузки грузовой корабль освобождает причал для следующего рейса.

Так станция перестаёт зависеть только от первоначального запаса. Но возникает новая зависимость — от регулярной доставки. Ресурс долгого полёта распределяется между орбитой и Землёй: часть груза уже на борту, другая ещё готовится на предприятии или космодроме. Изменение конструкции требует изменения календаря работы всей кооперации.^{1, 2, 3}

«Прогресс» создавали на базе «Союза», используя освоенные аппаратуру, технологии и ракету-носитель. Работы начались в 1973 году; первый лётный образец подготовили к ноябрю 1977-го. С 1978 по 1990 год изготовили и вывели на орбиту 43 корабля исходной серии. Все они автоматически состыковались со станциями «Салют-6», «Салют-7» и «Мир». Эти данные приводят Михаил Беляев, Дмитрий

Карасёв, Татьяна Матвеева и Дмитрий Рулев в статье журнала «Космическая техника и технологии».¹

За цифрой 43 стояло повторение полного производственного цикла: изготовление корабля, проверка систем, подготовка ракеты, выведение, сближение, стыковка и разгрузка. Одновременно работали две программы — текущая экспедиция и подготовка следующего рейса снабжения. Потеря времени на Земле сокращала запас времени у людей на орбите. Поэтому заводы, космодром, Центр управления полётами и экипаж действовали по согласованному календарю.

Грузовики расширяли исследовательские возможности уже действующей станции. «Прогресс-1» доставил печь «Сплав» для технологических экспериментов. На «Салюте-6» находились также установка «Кристалл», субмиллиметровый телескоп БСТ-1М массой 650 килограммов с зеркалом диаметром полтора метра и изготовленный в ГДР многозональный фотоаппарат МКФ-6М. Последний снимал Землю в шести спектральных диапазонах с разрешением 20 метров. Общая масса научной аппаратуры составляла около полутора тонн.³

Станция становилась лабораторией, состав оборудования которой можно было менять после запуска. Новые материалы и приборы позволяли продолжать исследования с учётом результатов предыдущих опытов.

Менялся и масштаб медицинских исследований. Первый экипаж «Салюта-6» провёл в космосе 96 суток.² После 96- и 140-суточных экспедиций советские специалисты сопоставляли состояние космонавтов до старта, в полёте и после возвращения. В работе А. Д. Егорова, переведённой и опубликованной NASA в 1979 году, рассматривались сердечно-сосудистая система, двигательные и вестибулярные функции, биохимические, гематологические и иммунологические показатели, восстановление после посадки.⁴ Организация следующего полёта опиралась на измерения, полученные в предыдущем.

Станцию можно достраивать

Следующий шаг — сборка станции из специализированных модулей. Базовый блок «Мира», созданный в НПО «Энергия» под руководством Валентина Глушко, вывели на орбиту в феврале 1986 года. Модули разрабатывало КБ «Салют». В апреле 1987 года к комплексу присоединился «Квант», в декабре 1989-го — «Квант-2», в июне 1990-го — «Кристалл».⁶

«Квант» показывает, что расширение станции означало сразу несколько видов усиления. При массе модуля 11 050 килограммов на научные приборы приходилось полторы тонны, ещё 2,6 тонны составляло оборудование, расширявшее возможности станции. Герметичный объём модуля достигал 40 кубических метров.⁷ Добавлялись рабочее пространство, исследовательская аппаратура и служебные средства. Станция могла развиваться в ходе собственной эксплуатации.

Преемственность между «Салютом-7» и «Миром» приобрела даже буквальную форму. В 1986 году Леонид Кизим и Владимир Соловьёв на «Союзе Т-15» перелетели с «Мира» на «Салют-7», а затем вернулись. Соловьёв вспоминал, что новая станция нуждалась в дооснащении, тогда как на прежней оставалась ценная аппаратура. На «Мир» перевезли фотоаппаратуру, медицинское оборудование и другие приборы. Готовя перелёты, специалисты согласовывали орбиты, рассчитывали манёвры и расход топлива.⁸

Такой режим работы менял подготовку космонавта. На комплексном тренажёре «Мира» отрабатывали монтаж и демонтаж, техническое обслуживание, ремонт систем, радиообмен и использование бортовой документации. Пульты представляли собой лётные образцы, приспособленные для тренажёра.⁶ Человек на станции должен был понимать устройство оборудования, находить неисправность и выполнять операции, которые на Земле распределялись между несколькими специалистами.

С 21 декабря 1987 года по 21 декабря 1988 года Владимир Титов и Муса Манаров работали в космосе почти 366 суток. За время их экспедиции станцию посетили экипажи трёх пилотируемых кораблей. Сами Титов и Манаров выполнили три выхода в открытый космос и вернулись на другом «Союзе» — ТМ-6.⁹ Годовой полёт обеспечивался обновлением запасов и оборудования, сменой транспортных кораблей, медицинским контролем и ежедневным обслуживанием комплекса.

Научный результат длительной эксплуатации можно проследить по обсерватории «Рентген» на «Кванте». Четыре её прибора совместно перекрывали диапазон энергий от 2 до 800 килоэлектронвольт. Они зарегистрировали жёсткое рентгеновское излучение сверхновой 1987А в Большом Магеллановом Облаке. Подготовкой наблюдений и обработкой данных занимался Институт космических исследований; результаты публиковала группа Рашида Сюняева. За 1987–1999 годы обсерватория провела более 3000 сеансов наблюдений.¹⁰

Исследования продолжались и после отказов отдельных устройств. В марте 1988 года вышел из строя звёздный датчик телескопа ТТМ. Специалисты использовали положение источника в поле зрения самого телескопа для расчёта эффективности остальных, жёстко связанных с ним приборов. Наблюдения удалось сохранить без замены датчика. Математическое обеспечение построения изображений и спектров ТТМ подготовили Марат Гильфанов и Евгений Чуразов.¹⁰ Эксплуатационная компетенция включала способность найти новый способ использования уже установленной аппаратуры.

«Мир» просуществовал на орбите до 23 марта 2001 года — пятнадцать лет, продолжив работу после распада СССР.⁶ Долговечность комплекса обеспечивалась сочетанием ресурса конструкции с возможностью снабжения, замены оборудования и ремонта. Советская космонавтика создала производственную и эксплуатационную систему, способную поддерживать научную лабораторию за пределами Земли

на протяжении многих смен экипажей. Опыт каждого полёта поступал в расчёты, инструкции, тренажёры и конструкцию следующего изделия.

Что показал ремонт

Можно ли было обойтись без человека? Работа Джанибекова и Савиных показывает ценность осмотра, измерений и переделки оборудования на месте. Для других программ сравнивать предстоит собственный перечень выполнимых операций, стоимость и риск. Здесь экипаж сумел продолжить работу после отказа штатного автоматического порядка.

Три проверки · итог части II

Школа	Производство	Пользователь
Есть: конструкторы и испытатели передают опыт.	Есть: двигатели, корабли и снабжение станций воспроизводятся серийно.	Есть: экипаж и наземные службы возвращают сведения об отказах; трагедии обнаруживают пределы этой защиты.

Оценка относится к описанным случаям, а не к каждой отрасли СССР.

Часть III. Завод за открытием

Рабочий осваивает автоматическую сварку. Рядом с ним специалист, который знает новый процесс и помогает применить его на заводе. В истории патоновского коллектива эту работу выполняла, в частности, Лия Гутман.⁴

Так открытие получает продолжение в руках человека, который не участвовал в его создании. Ему предстоит воспроизвести качество на следующей детали и заметить отклонение. Между лабораторией и серией появляются обучение, оборудование, измерение и контроль. Эта часть проходит такой путь от атомной установки и сварки к оптике и микроэлектронике. Завод меняет масштаб результата, а вместе с ним — масштаб ответственности. Завершит часть Чернобыль: история о том, как сведения об опасности должны доходить до тех, кто управляет созданной установкой.

Время: 1942: сварочные автоматы · 1953: мост Патона · 1954: Обнинская АЭС · 1962: решение о Зеленограде · 1980: БН-600.

Три вопроса к этой части: кто учится продолжать исследование? Кто может повторить изделие? Кто пользуется им и возвращает сведения об ошибках?

Глава 8. От пяти мегаватт до атомной отрасли

*1953–1992 · Обнинск — Электросталь — Урал — Нововоронеж — Волго-
донск*

27 июня 1954 года. Обнинск даёт ток в сеть

Обнинская станция дала ток в сеть. Реакторное тепло прошло через водяные контуры и парогенераторы к турбине и генератору. Построенная атомная установка стала источником электроэнергии для внешнего потребителя. До проектной мощности ей ещё предстояло дойти.¹

За пуском сошлись разные расчёты и разные организации. Научной частью руководил Дмитрий Блохинцев, созданием реактора — Николай Доллежалъ. Группа П. Е. Немировского выполняла физические расчёты, группа П. И. Алешченкова — тепловые. Энергетическую часть разрабатывал Всесоюзный теплотехнический институт. При тридцати тепловых мегаваттах станция давала пять электрических.¹

Для станции взяли турбину MAN, ранее работавшую в системе московской энергетики. Новую ядерную установку соединяли с освоенной техникой электростанций. Приборы и защита должны были обеспечить управление целым: получение тепла в реакторе, его передачу и работу энергетического оборудования.

Датой выдачи тока завершался переход, ради которого строили станцию. У физического опыта появился потребитель за пределами исследовательского учреждения. Следующим рубежом стала проектная мощность; после него — длительная эксплуатация с поставками топлива, контролем состояния и ремонтом.

В октябре Обнинская АЭС достигла предусмотренных пяти мегаватт. Между первой выдачей тока и выходом на проектный режим прошло несколько месяцев. Станция

вошла в работу, которую предстояло повторять каждый день.¹

Топливо для следующего дня

Пуск завершал одну задачу и открывал следующую. Станции предстояло регулярно получать топливо, заменять оборудование, проходить ремонты. Отраслевые предприятия обеспечивали её эксплуатацию на десятилетия вперёд. Масштаб атомной энергетики определялся всей цепью: от уранового сырья и его переработки до изготовления оборудования и обращения с отработавшим топливом.

Одно из важнейших звеньев находилось в Электростали. 16 мая 1953 года директор завода № 12 Юрий Николаевич Голованов подписал приказ о создании цеха № 39 для производства тепловыделяющих элементов Обнинской АЭС. В 1954 году предприятие изготовило её первую активную зону. Голованов руководил заводом с октября 1951-го по октябрь 1956 года; прежде работал главным инженером.²

Тепловыделяющий элемент соединял требования физиков с возможностями металлургии и заводской технологии. Топливо должно было отдавать тепло, а оболочка — сохранять герметичность в условиях облучения и нагрева. Значение имели материал, геометрия, качество соединений и контроль готового изделия. На заводе осваивали обработку урана, сварку оболочек, специальные установки и приборы контроля. В заводской истории сохранились рассказы о том, как Голованов во время изготовления обнинского топлива приезжал в цех чаще установленного графика, разбирал затруднения с мастерами и рабочими. За датой пуска станции стояли такие производственные задачи.²

Пять лет между опытом и производством

Другой участок цепи — обогащение урана — развивался на Уральском электрохимическом комбинате. В 1957 году там ввели первую очередь опытного центрифужного завода. Предстояло проверить сами машины, управление ими, энергоснабжение и обслуживание. В 1962 году вступила в строй

первая очередь промышленного центрифужного производства. Между опытной установкой и промышленностью лежали пять лет отработки.³

Переход от газодиффузионного метода к центрифугам продолжался ещё четверть века и завершился на комбинате в 1988 году. По истории предприятия, его энергопотребление удалось сократить в десять раз при увеличении разделительной мощности в два-три раза. Это меняло экономику всей цепи: при получении обогащённого топлива расходовали существенно меньше электроэнергии, а возможности снабжения реакторов росли.³

Следующая ступень хорошо видна на Нововоронежской АЭС. В 1964 году здесь запустили первый блок с реактором ВВЭР-210, в 1969-м — ВВЭР-365, в 1971 и 1972 годах — два блока с ВВЭР-440. В 1980 году состоялся пуск пятого блока с ВВЭР-1000. Одна площадка последовательно принимала поколения водо-водяных энергетических реакторов.⁴

С ростом единичной мощности изготовители осваивали более крупное и сложное оборудование. Корпус реактора, трубопроводы, насосы, парогенераторы и системы управления должны были работать совместно. На каждом следующем блоке проверялась способность промышленности выпускать более крупные и сложные изделия, а эксплуатационного персонала — управлять ими. Нововоронежская последовательность показывает, как проект реактора становился основой развивающегося семейства установок.

18 февраля 1981 года в Волгодонске отметили выпуск первого реакторного корпуса завода «Атоммаш». Корпус ВВЭР-1000 массой 320 тонн предназначался для Южно-Украинской АЭС. В его изготовлении участвовали бригады Владимира Суслова, Леонида Зимина, Николая Ковалёва и других мастеров. На заключительном этапе комплексную бригаду возглавлял Николай Головин. В декабре того же года завод выпустил первый корпус парогенератора длиной 12 метров; в этой работе отличилась бригада Вячеслава Алексеева.⁵

Изготовители развивали собственное производство тяжёлого оборудования: станки, сварочные установки,

средства контроля, испытательные стенды, подъёмные и транспортные устройства. Чертёж реактора задавал требования сразу множеству производств. Способность изготовить корпус включала умение проверить металл и соединения, испытать готовое изделие, доставить его на станцию и установить в проектное положение.

Одновременно в Обнинском Физико-энергетическом институте развивалось направление быстрых реакторов, научные основы которого создавал Александр Ильич Лейпунский. В этих установках исследовали возможность значительно расширить использование урановых ресурсов и организовать воспроизводство ядерного топлива. С жидкометаллическим теплоносителем работали на собственной экспериментальной базе, развивая отдельную школу реакторной техники.⁶

8 апреля 1980 года БН-600 на Белоярской АЭС впервые выдал электричество. Его проектная тепловая мощность составляла 1470 мегаватт, электрическая — 600 мегаватт. Натриевый быстрый реактор вышел на масштаб крупного энергоблока. Теперь накопление знаний шло в условиях работы станции: исследовательские расчёты и стендовые опыты дополнялись опытом эксплуатации энергетической установки.^{6, 7}

После выгрузки из реактора топливо оставалось предметом работы отрасли. Его выдерживали, хранили, перевозили в защитных контейнерах, а при переработке извлекали пригодные для дальнейшего использования материалы и обращались с радиоактивными отходами. В 1977 году на комбинате «Маяк» ввели комплекс РТ-1 по регенерации облучённого топлива атомных электростанций. К реакторостроению и изготовлению топлива добавлялось промышленное производство, работавшее с ним после облучения.⁸

Наличие РТ-1 и БН-600 ещё не означало, что весь парк советских АЭС работал в замкнутом топливном цикле. В таком цикле предприятия согласовывали переработку с изготовлением нового топлива и его использованием в реакторах. Но СССР уже располагал промышленными и иссле-

довательскими звеньями, позволявшими решать эту задачу внутри страны.

26 апреля 1986 года авария четвёртого блока Чернобыльской АЭС обнаружила тяжёлые недостатки другой части отраслевой системы — обеспечения безопасности. В докладе МАГАТЭ INSAG-7, опубликованном в 1992 году, рассматривались конструктивные недостатки РБМК, неудовлетворительные действия персонала, слабости анализа безопасности и надзора. Выявление ошибок, передача сведений об опасных свойствах оборудования и устранение дефектов становились мерой ответственности за созданную мощь.⁹

К началу 1991 года установленная мощность атомных электростанций СССР достигала 36,6 гигаватта. За 1990 год они выработали 211,5 миллиарда киловатт-часов.⁹ Между обнинскими пятью мегаваттами и этой отраслью стояли десятилетия работы физиков, химиков, металлургов, конструкторов, заводских бригад и станционных смен. СССР научился проектировать реакторы, снабжать их топливом, изготавливать основное оборудование, эксплуатировать энергоблоки и перерабатывать часть отработавшего топлива. Научное знание получило продолжение во всех этих производствах.

Как это работало · Тепловая мощность и электрическая

Реактор выделяет тепло. Турбина и генератор превращают часть этой энергии в электричество; оставшаяся часть отводится через оборудование станции. Поэтому тепловая и электрическая мощности имеют одинаковую единицу измерения, но относятся к разным участкам процесса.

Для приведённых в истории Обнинской АЭС 30 МВт тепловых и 5 МВт электрических отношение составляет около одной шестой. Это арифметическое отношение названных мощностей, а не универсальный коэффициент для атомной энергетики и не отдельная оценка годовой экономической эффективности. Для такой оценки пришлось бы знать фактическую выработку, собственное потребление станции и затраты за выбранный период. Разделение величин защищает сравнение от эффектной, но неверной подмены.

Интермедия. Разведка, собственная наука и атомный результат

1943–1949 · научное руководство — разведывательные сведения — промышленность.

Если разведка передала чужие сведения, чьим достижением было советское атомное оружие? Вопрос кажется простым, пока под одним словом «создание» понимают и получение информации, и производство работающего изделия.

Опубликованный корпус «Атомный проект СССР» содержит отзывы Курчатова на разведывательные материалы, планы работ, переписка руководителей и отчёты об испытаниях. Введение к шестой книге второго тома разбирает значение поступавшей информации. Документ № 287 — доклад Берии и Курчатова от 30 августа 1949 года — фиксирует состоявшееся накануне испытание первой советской атомной бомбы. Эти документы позволяют увидеть два разных результата: получение сведений и выполнение собственной программы.¹

Что приносила информация

У разведки была самостоятельная заслуга. Достоверные сведения о чужой работе могли указывать перспективное направление, показывать уже найденное решение и уменьшать неопределённость. В большой программе это означало экономию времени и снижение риска тупикового поиска. Её самостоятельная ценность заключалась в изменении направления и сроков поиска.

Но получатель должен был уметь её оценить. Отзыв Курчатова — сам по себе существенный факт организации проекта: сведения попадали к научному руководителю, способному сопоставить их с имеющимися знаниями и превратить в исследовательское задание. Между доставленным доку-

ментом и решением о дальнейшей работе находилась компетенция физика.

Численная оценка вроде «разведка дала столько-то процентов бомбы» лишена определённой единицы измерения. Процент текста, затрат, массы изделия и сэкономленного времени — разные вещи. Последнее особенно трудно установить: для него пришлось бы знать срок завершения программы в истории, где тех же сведений не получили. Документы о фактической работе не дают готового числа для такого сценария.

Что изготавливали в стране

Требуемый материал по полученным сведениям изготавливали химические производства, приборостроители, разработчики оборудования и специалисты по контролю качества. Даже когда направление поиска известно, каждый производственный переход требует собственной работы. Возможность понять решение и возможность устойчиво его изготавливать — разные ступени.

В дальнейшем вокруг атомной энергетики выросло разветвлённое производство: топливо изготавливали в Электро-стали, центрифужное производство развивали на Урале, реакторное оборудование выпускали специализированные заводы. Эти производства относятся к последующему гражданскому развитию отрасли. Но она помогает различить информацию о технологии и действующую промышленность: вторая существует только там, где люди действительно выполняют операции и отвечают за результат.

Внешние сведения и собственные исследования могли дополнять друг друга. Когда их объявляют взаимоисключающими, исчезает реальная задача управления: какие сведения использовать, что проверить, какие разработки вести дальше, где сосредоточить ограниченные ресурсы. Самостоятельность проявляется и в способности принимать полезный внешний результат без потери собственного умения исследовать.

Первый образец не описывает всю дальнейшую программу

Для каждой следующей разработки происхождение решений устанавливается отдельно. В 1996 году Юлий Харитон, Виктор Адамский и Юрий Смирнов опубликовали в «Успехах физических наук» статью о создании советской водородной бомбы. Редакционное предисловие прямо указывало, что выступление участников стало возможным после снятия ряда формальных ограничений.² Публичная история проекта раскрывалась с задержкой; это влияло на то, какие объяснения были доступны читателю.

Для нашей темы существенны происхождение знания и способность его развивать. Вопрос о первой атомной бомбе, вопрос о термоядерных исследованиях и вопрос о строительстве АЭС требуют разных документов. Общая фраза «всё было своим» так же мешает исследованию, как «всё получили готовым».

Вклад разведчиков следует оценивать по полученной и использованной информации. Вклад физиков — по исследованиям, расчётам и научному руководству. Вклад промышленности — по созданным материалам, оборудованию и изделиям. Ответственность государства — по тому, как оно соединило эти работы и какой ценой достигло результата. Подмена одного вклада другим уменьшает точность и одновременно обесценивает труд остальных участников.

Глава 9. Сварить танк. Построить мост

1934–1959 · Киев — Нижний Тагил — Днепропетровск

Шесть сварочных установок к концу 1942 года, пятнадцать — в 1943-м, тридцать — в 1944-м. Так новая технология входила в цеха Уральского танкового завода.¹ Заводчане изготавливали каждый автомат, устанавливали его, снабжали материалами и включали в поток. Рабочий следующей смены должен был получать такое же качественное соединение, как его предшественник.

Способность многократно воспроизводить результат складывалась задолго до атомных энергоблоков и космических станций. Одним из её создателей стал Евгений Оскарович Патон. В 1934 году в Киеве начал работу основанный им Институт электросварки Академии наук УССР. Уже в 1937-м в институте появился отдел внедрения с выездной бригадой. Учреждение получило подразделение, обязанное доводить разработки до работы на предприятии.²

Патон соединял исследования металла и электрической дуги с конструированием аппаратуры. В 1939 году институт разработал плавящийся флюс АН-1 и сварочную головку А-66; её производство организовали на киевском заводе «Автомат».² Флюс защищал зону сварки, аппаратура механизировала процесс. За одним способом соединения деталей стояли разные производства: сварочных материалов, электрического оборудования, механизмов подачи и перемещения.

Война резко повысила цену этой работы. Эвакуированный в Нижний Тагил институт разместился на территории Уралвагонзавода. В 1942 году его сотрудники разработали технологию автоматической сварки броневых сталей под флюсом. В 1943-м подготовили двадцать проектов установок для сварки танковых корпусов.² Даже для одного изделия конструкторы создавали разные приспособления: размеры

деталей, положение соединений и доступ к ним менялись от операции к операции.

Заводское внедрение сопровождалось исследованием самого процесса. В 1942 году В. И. Дятлов обнаружил явление саморегулирования плавления электрода при сварке под флюсом. Борис Патон, А. М. Макара, П. И. Севбо и М. Н. Сидоренко исследовали его и использовали при создании более простых и надёжных сварочных автоматов. Борис Евгеньевич пришёл в институт в том же 1942 году: после окончания Киевского политехнического института он успел поработать на «Красном Сормове».³

Исследование позволяло упростить оборудование, которое предстояло выпускать и обслуживать в больших количествах. По данным истории Института электросварки, один автомат на соответствующих сварочных операциях заменял труд восьми-десяти опытных сварщиков. Управлять им мог рабочий, не имевший многолетнего опыта ручной сварки. В условиях нехватки квалифицированных кадров это позволяло расширять производство одновременно с обучением новых людей.³

Военный Нижний Тагил. Испытание двух швов

Качество соединения проверяли обстрелом. Патон вспоминал испытание корпуса, у которого один борт сварили вручную, другой — автоматом под флюсом. Ручные швы получили значительные разрушения; автоматические удержали броневые плиты. После этих испытаний, по его свидетельству, отношение заводских руководителей к новой технологии изменилось: они стали настойчивее требовать её распространения.⁴

Внедрение после испытания

Разделение обязанностей было конкретным. Институт проектировал установки, предоставлял сварочную и флюсовую аппаратуру, выполнял электромонтаж и запуск. Заводской отдел изготавливал несущие конструкции, приспособле-

ния и кондукторы, удерживавшие детали в заданном положении. Обучать рабочих в цеха направили Георгия Волошкевича, Лию Гутман, Бориса Патона, затем Даниила Рабкина, Александра Супруна и Бориса Медовара. Среди новых операторов, которых перечислял Патон, были сельский учитель математики, студент театрального техникума, чабан и хлопковод.⁴

Так исследовательский результат получал сразу несколько форм: конструкцию машины, технологию операции, комплект приспособлений и навык рабочего. Отсутствие любого из этих звеньев задерживало выпуск. Готовый автомат без подготовленного оператора простаивал; обученный оператор без исправной оснастки не мог обеспечить требуемое качество. Поэтому вместе с оборудованием в цех приходили люди, способные его наладить и передать способ работы другим.

После войны эта организация труда получила продолжение в восстановлении промышленности. Заводы и стройки получали сварочные аппараты для разных изделий и условий монтажа. В 1947 году был создан малогабаритный универсальный сварочный трактор ТС-17 для стыковых и угловых швов. Он стал основой последующих моделей, в том числе двухдугового ДТС-23 и ТС-32.⁵ Серия возникала уже на следующем уровне: выпускалась техника, с помощью которой другие предприятия могли организовывать собственное производство.

Особенно ясно это проявилось при строительстве киевского моста через Днепр. Его металлические конструкции изготавливали на заводе в Днепропетровске с декабря 1951-го по апрель 1953 года; монтаж шёл с апреля 1952-го по октябрь 1953-го. Общая масса металлоконструкций составляла около десяти тысяч тонн, длина моста — 1543 метра. В работе участвовали Киевское отделение «Проектстальконструкции», завод металлоконструкций, Мостоотряд № 2 и Институт электросварки.⁶

Проект предусматривал крупные однотипные блоки. Это позволило механизировать сборку и сварку, организовать поточное изготовление на заводе и повторяемые операции при монтаже. Автоматами и полуавтоматами выполнили 97% заводских швов главных ферм и 88% их монтажных швов. Технология работала и в цехе, и на строительной площадке.⁶

Здесь серийность проявилась внутри уникального сооружения. Мост строили один, но его основные элементы и операции многократно повторялись. Изготовление конструкций и строительство на реке частично шли одновременно; поставки связывали две площадки в общий производственный процесс.

Лаборатория Московского автодорожного института обследовала мост во время строительства и после его завершения. Перед сдачей провели испытания статической и динамической нагрузками. 4 ноября 1953 года правительственная комиссия осмотрела сооружение и приняла решение о вводе в постоянную эксплуатацию с 5 ноября.⁶ Производство повторяющихся элементов завершалось проверкой того, как они работают вместе под нагрузкой.

К концу 1950-х годов в народном хозяйстве СССР эксплуатировалось более десяти тысяч сварочных аппаратов, разработанных Институтом электросварки, ленинградским ВНИИЭСО и другими коллективами. Они применялись в строительстве, машиностроении, судостроении и производстве газопроводных труб. В 1959 году на базе конструкторского отдела института, которым руководил П. И. Севбо, организовали Опытно-конструкторское бюро. Его работа включала создание оборудования и поточных сборочно-сварочных линий для промышленности.⁵

Один мост собрали из множества повторённых операций. Качество каждого следующего шва должно было подтвердить качество предыдущего.

Квалификация меняет форму

Сварочный автомат не отменил квалифицированный труд. Он перераспределит его. Разработчики заранее воплощали часть умения опытного сварщика в оборудовании, материале и режиме операции. Затем другие люди должны были обеспечить настройку, подачу, удержание деталей и контроль соединения.

Поэтому сельский учитель, чабан или студент театрального техникума могли войти в производство, не повторяя всего пути мастера ручной сварки. У новой работы оставались собственные трудности. Она получила другую организацию обучения: институт направлял в цех тех, кто понимал новый процесс и мог передать его операторам.⁴

Лия Гутман в воспоминании Патона названа среди специалистов, направленных обучать рабочих. Её место в истории технологии — у действующего автомата, где научное решение осваивал новый человек. Вместе с Волошкевичем, Борисом Патоном и другими сотрудниками она участвовала в переходе, без которого производительность осталась бы свойством опытной установки.

Как это работало • Что делает флюс

При сварке флюс защищает расплавленный металл от окружающего воздуха и помогает сформировать соединение. В процессе под флюсом дуга работает под слоем специального материала; образующийся шлак участвует в защите сварочной ванны. Подача проволоки и движение сварочной головки могут выполняться механизмами.

Механизация переносит часть требований с движения руки сварщика на настройку и устойчивость режима. Оператор по-прежнему готовит соединение, следит за процессом и обнаруживает отклонения. Поэтому автомат меняет квалификацию, а не устраняет её. Производственное достижение состоит в повторяемом качестве соединений при подходящих материалах, оборудовании и контроле. Именно такую задачу решало внедрение, описанное в этой главе.

Глава 10. Тридцать нанометров и общий миллиметр

1926–1972 · Ленинград — Москва — Менделеево — Харьков

Поверхность казалась гладкой. Прибор Владимира Павловича Линника позволял измерять на ней неровности высотой в тридцать нанометров — 0,03 микрометра. Описание микроинтерферометра появилось в 1933 году. Свет, отражённый от детали, сравнивался со светом от образцового зеркала; неровности искривляли интерференционные полосы. Значение точности приводит коллега Линника Михаил Мирошников в обзоре его работ.¹

Для машиностроения это означало возможность проверить то, что глаз воспринимал как гладкую поверхность. Следы обработки влияли на трение, износ и работу сопряжённых деталей. Конструктор мог задать требования к поверхности, технолог — выбрать обработку, контролёр — измерить результат. Требование превращалось в производственное задание лишь тогда, когда существовал способ установить, выполнено ли оно.

Линник пришёл в Государственный оптический институт в 1926 году по приглашению Дмитрия Сергеевича Рождественского. В 1931-м организовал сектор методики изготовления точных приборов. В него вошли группы микроскопической оптики П. Д. Радченко, астрономических приборов Дмитрия МаксUTOва, интерференционной и кристаллической оптики А. П. Афанасьева.¹ Уже название сектора ставило изготовление прибора в один ряд с его расчётом.

Приборы Линника охватывали разные производственные задачи. Двойной микроскоп, созданный в 1929 году, служил для исследования профиля поверхности. Микроинтерферометр позволял перейти к более мелким неровностям. В 1945 году появился микропрофилометр для измерения следов обработки, расположенных в разных направлениях. В 1944–1945 годах Линник разработал также интерферо-

метр для контроля прямолинейности профиля поверхностей длиной до пяти метров.¹

Малую линзу, длинный вал и станочную направляющую контролировали разными приборами. Общий физический принцип становился основой семейства измерительной техники.

Калибр для заводского цеха

Параллельно создавалось производство инструмента для повседневной заводской работы. Московский завод «Калибр» выпустил первую продукцию в 1932 году; официальной датой его основания стало 11 июля. Предприятие специализировалось на точных измерительных приборах: штангенциркулях, микрометрах, калибрах. В его продукции 1930–1950-х годов были также индикаторы и приборы для измерения шероховатости. Сохранившиеся образцы предприятия впоследствии передало Музею Победы.^{2, 3}

Значение такого завода выходило далеко за пределы стоимости его изделий. Калибр позволял быстро проверить, укладывается ли размер детали в установленные границы. Микрометр давал численное значение размера. Индикатор помогал обнаружить отклонение при перемещении или вращении. При серийном выпуске такие проверки повторялись тысячи раз. От доступности измерительного инструмента зависела возможность организовать контроль непосредственно в производстве.

Но два исправных на вид прибора могли давать разные показания. Изнашивались измерительные поверхности, изменялись настройки, влияла температура. Заводской инструмент регулярно сопоставляли с более точными мерами. Те, в свою очередь, должны были быть связаны с эталоном единицы. Так возникала цепь передачи размера: от метрологической лаборатории через образцовые меры и приборы до рабочего места. Она обеспечивала общий смысл миллиметра для предприятий, находившихся за тысячи километров друг от друга.

Миллиметр между предприятиями

Сам эталон тоже менялся вместе с физикой.

Метр должен быть одинаковым

В 1960 году XI Генеральная конференция мер и весов отказалась от определения метра через платиново-иридиевый прототип. Новое определение связывало метр с 1 650 763,73 длины волны определённого излучения атома криптона-86 в вакууме. Единицу длины стало возможно воспроизводить через свойства атома.⁴

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии имени Д. И. Менделеева работы по созданию интерферометров для воспроизведения и передачи единицы длины через световые волны велись с 1950-х годов. Они обеспечили приборную основу реализации нового определения метра.⁵ Чтобы осуществить международное решение, метрологи создавали собственное оборудование, источники излучения и методы сравнения. Только после этого оно могло служить опорой для измерений внутри страны.

Секунда для всей страны

Похожее преобразование происходило со временем. Здесь надо было обеспечить согласованную работу обсерваторий, радиостанций и наблюдательных пунктов. 4 октября 1957 года, в день запуска первого спутника, служба времени ВНИИФТРИ начала передавать специальные сигналы для станций наблюдения искусственных спутников Земли. С 1958 года привычные шесть сигналов проверки времени стали передаваться каждый час круглосуточно. Одновременно начались круглосуточные передачи образцовых частот 10 и 15 мегагерц радиостанцией РВМ и 100 килогерц передатчиком РЕС.⁶

Слушатель сверял по радио часы. Специалист получал возможность сравнить частоту своего генератора с передаваемой образцовой частотой. Научная установка, работав-

шая в метрологическом институте, через сеть передатчиков обслуживала множество удалённых потребителей.

В 1959 году в практику советской службы времени вошли аммиачные молекулярные генераторы, созданные в Харьковском государственном институте мер и измерительных приборов под руководством А. Я. Лейкина. В 1967 году завершили создание Государственного эталона времени и частоты. По опубликованному в 1972 году описанию, его основу составляли водородные квантовые генераторы и группа высокоточных кварцевых часов; относительная погрешность воспроизведения единиц составляла 10^{-11} .⁶

Учёным хранителем этого эталона в 1967 году стал Сергей Борисович Пушкин.⁷ Должность означала постоянную ответственность за действующую измерительную систему. Метрологи исследовали эталон, сопоставляли его с другими средствами воспроизведения единиц, поддерживали его характеристики и передавали точное время потребителям.

В том же 1967 году XIII Генеральная конференция мер и весов утвердила атомное определение секунды: её длительность связывалась с 9 192 631 770 периодами излучения определённого перехода в атоме цезия-133.⁸ Цезий задавал определение единицы; для практического хранения и передачи времени метрологи объединяли генераторы, часы, аппаратуру сравнения и радиосвязи.

Общий миллиметр связывал удалённые заводы. Уменьшая изделие, промышленность увеличивала требования к этой незаметной связи.

Как это работало · Почему недостаточно одного точного прибора

Две детали могут быть измерены очень аккуратно и всё же не совпасть, если приборы на разных заводах дают систематически разные результаты. Для совместного изготовления метрологи передают размер от общего эталона к рабочим средствам измерения и контролируют погрешности на этом пути.

Допуск задаёт допустимое отклонение размера детали. Погрешность измерения характеризует, насколько уверенно этот размер установлен. Смешивать их нельзя: более подробная шкала прибора сама по себе не уменьшает действительную погрешность. Общий миллиметр — это согласованность измерений, благодаря которой детали от разных изготовителей можно соединить без индивидуальной подгонки. История эталонов и заводских калибров в главе описывает две стороны одной работы.

Глава 11. Зеленоград: завод внутри кристалла

1962–1986 · Зеленоград — Минск — Воронеж

Зеленоград, 1966 год. Два транзистора на пластине

Два транзистора в одной интегральной схеме — с таких изделий начиналась работа, которой предстояло изменить устройство промышленности. В 1966 году НИИ молекулярной электроники в Зеленограде организовал опытный цех для пластин диаметром 25 миллиметров. Среди разработок была двухтранзисторная схема «Иртыш». Институт создали 9 марта 1964 года; к началу 1965-го в нём работали 183 человека. 25 января директором назначили Камиля Ахметовича Валиева.¹

Два транзистора выглядели скромно рядом с тысячами электронных элементов тогдашних вычислительных машин. Но здесь решалась другая производственная задача: сформировать элементы и соединения между ними в одном кристалле, затем многократно повторить результат. Вместо сборки из отдельных деталей создавался последовательный технологический процесс. На одной пластине одновременно изготавливалось множество будущих микросхем.

Производство точности

Организационную основу этой работы заложило постановление от 8 августа 1962 года о создании Центра микроэлектроники в Зеленограде.² Председатель Государственного комитета по электронной технике Александр Иванович Шокин назначил его первым директором Фёдора Викторовича Лукина приказом от 8 февраля 1963 года.³ В Центре объединяли разработчиков схем, технологов, конструкторов производственного оборудования и предприятия, выпускавшие результат их работы.

Микросхема связывала несколько дисциплин в одной заготовке. Физик определял свойства полупроводниковой структуры. Разработчик выбирал электрическую схему. Технолог устанавливал последовательность обработки пластины. Фотолитография переносила рисунок будущих элементов; процессы легирования, окисления, травления и нанесения проводящих слоёв формировали прибор. После изготовления следовали электрическая проверка, разделение пластины на кристаллы, сборка в корпус и испытания. Ошибка на ранней операции могла обнаружиться лишь после многих последующих.

Поэтому важнейшим показателем становился выход годных — доля изготовленных кристаллов, прошедших контроль. Стоимость обработки несла вся пластина, а полезную продукцию давали только исправные схемы. Загрязнение, дефект материала или нарушение геометрии уменьшали их количество. Рост числа элементов на кристалле усиливал требования к чистоте и устойчивости процесса. Миниатюризация одновременно была задачей физики, производственной дисциплины и экономики.

Валиев занимался всем этим комплексом: технологическим оборудованием, чистыми помещениями, организацией выпуска сверхчистых материалов. В НИИМЭ создавались также системы автоматизированного проектирования интегральных схем, в том числе на базе БЭСМ-6.⁴ Вычислительная машина становилась инструментом разработки собственной элементной базы. Между проектированием схемы и её изготовлением появлялась программная работа: расчёт, описание структуры, подготовка и проверка проектных данных.

1 февраля 1967 года при НИИМЭ организовали завод «Микрон». В 1970 году предприятие изготовило и поставило заказчикам более 3,5 миллиона микросхем. В начале 1970-х годов в институте и на заводе работало около восьми тысяч человек. В 1971 году под монтаж сдали четыре секции завода общей площадью свыше 60 тысяч квадратных метров.¹ За небольшим кремниевым кристаллом выросло

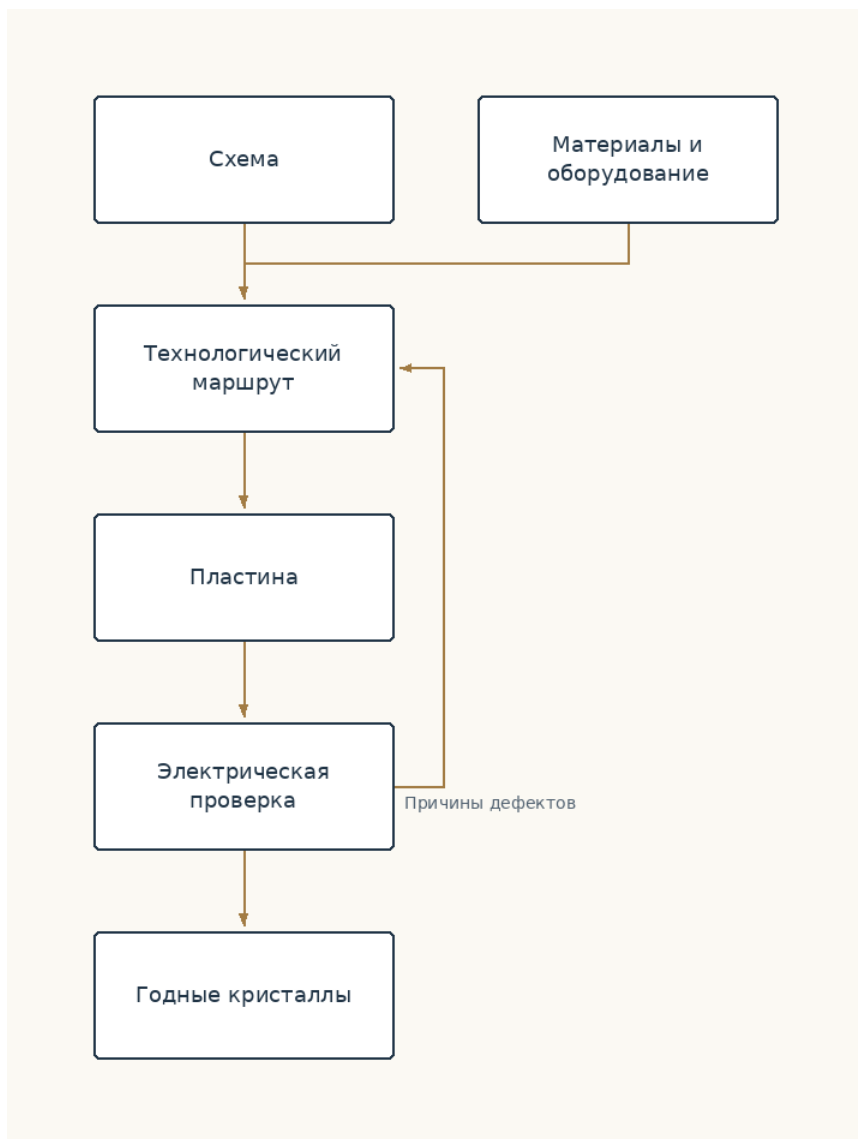
крупное производство с лабораториями, инженерными службами и тысячами рабочих мест.

Как это работало · Выход годных — экономика одной пластины

Предположим, одинаковая обработка даёт в одном случае 80 исправных кристаллов из ста, а в другом — 40. Это условные числа, не статистика советских заводов. Если затраты на обработку одинаковы, во втором случае на годный кристалл приходится вдвое больше этой части затрат.

Поэтому увеличение числа элементов или площади пластины полезно лишь вместе с контролем дефектов. Заводу важно не количество нарисованных схем, а число изделий, прошедших проверку. Чистота и устойчивость процесса имеют прямое экономическое выражение.^{1, 4, 5, 6}

Схема. Почему рисунка микросхемы недостаточно



Проект микросхемы проходит через подготовку материала, изготовление и контроль; выявленные дефекты требуют изменения процесса.

Схемотехническое решение и его производственное воспроизведение — разные задачи.

Кто изготавливает машины для микросхем

Особое место занимали изготовители оборудования. НИИ точного машиностроения создавался как головное предприятие по специальной технологической аппаратуре. За первое десятилетие здесь разработали вакуумные установки УВН-1, УВН-2, УВН-70А-1, электронно-лучевую установку ЭЛУМ-1 и другое оборудование для микроэлектроники. В номенклатуру входили средства обработки пластин диаметром 40, 60 и 70 миллиметров.⁵ Машиностроители выпускали оборудование, обеспечивавшее чистоту, точность и повторяемость обработки кремния.

Эта работа быстро вышла за пределы одного города. По воспоминаниям Александра Анатольевича Васенкова, с 1968 года НИИМЭ, НИИ «Пульсар» и Воронежское конструкторское бюро согласовывали базовые технологические маршруты. По их заданиям оборудование создавали зеленоградский НИИТМ, минское КБ точного машиностроения, институты в Горьком и Воронеже. В 1970 году появился комплект «Корунд» для производства на пластинах диаметром 25–40 миллиметров; в 1971-м на опытную эксплуатацию поставили усовершенствованный вариант «Корунд-С».⁶

Разработчики и заказчики согласовывали также номенклатуру продукции. Заказчики хотели схемы под свои конкретные устройства. Если выполнять каждое пожелание как отдельную разработку, завод получал множество малых серий и постоянно меняющиеся задания. Васенков описывал решение через параметрические ряды: группы микросхем, изготавливаемых по общей базовой технологии, с согласованными электрическими характеристиками, корпусами и расположением выводов. Из дополняющих друг друга элементов можно было строить разную аппаратуру.⁶

Для завода это позволяло дольше работать по освоенному процессу и накапливать статистику дефектов. Для разработчика аппаратуры — выбирать элементы из уже выпускаемого семейства. Производитель и потребители серийных

микросхем договаривались о функциях, рабочих режимах, соединении и проверке изделий.

Свою технологическую линию развивал «Ангстрем», созданный в июне 1963 года как опытный завод при НИИ точной технологии. Здесь отрабатывали новые процессы и выпускали опытные партии; освоенные технологии передавали другим предприятиям СССР и стран Восточной Европы. В 1983 году завод наладил массовое производство динамических запоминающих устройств ёмкостью 64 килобита, в 1986-м — 256 килобит.⁷ Вместимость одного кристалла памяти выросла вчетверо. Увеличивая ёмкость, разработчики размещали на кристалле больше ячеек, соединений и управляющих элементов, а технологи добивались устойчивого воспроизведения этой структуры.

Менялся и масштаб обработки пластин. В 1980 году на «Микроне» начали выпуск интегральных схем на пластинах диаметром 75–100 миллиметров, создали производство с отечественными чистыми помещениями и изготовили стомиллионную микросхему.¹ Большая пластина давала возможность разместить больше кристаллов за один производственный цикл. Одновременно возрастали требования к равномерности обработки по всей её площади.

Кадры готовили рядом с производством. На первый курс МИЭТ в 1966 году зачислили 250 студентов. Ректор Леонид Николаевич Преснухин возглавлял и выпускающую кафедру вычислительной техники. Среди первых кафедр были общая физика, химия, вычислительная математика, электротехника, технология приборо- и машиностроения.⁸ В 1970 году ввели еженедельную производственную практику: три дня студенты работали на базовых предприятиях отрасли полный рабочий день. При кафедре общей физики создали отраслевую лабораторию проблем измерений и надёжности в микроэлектронике.⁸ Подготовка включала работу с реальными производственными задачами ещё до получения диплома.

Главным испытанием завода становилась следующая пластина: получится ли на ней то же качество?

Почему одного удачного кристалла мало

Для демонстрации схемы достаточно найти работающий образец. Для предприятия важна доля работающих образцов при регулярном выпуске. Если эту разницу не учитывать, опытный успех и промышленную готовность легко принять за одно состояние.

Поэтому миллионы микросхем «Микрона» — самостоятельный результат наряду с конструкцией отдельной схемы. Но и суммарное число выпущенных изделий ещё не позволяет ранжировать отрасли разных стран: сравнивать следует типы, сложность, сроки освоения и надёжность изделий. Для сравнения массовых простых схем с более сложными требуется учесть их назначение и возможности.

Валиев связывал технологию с чистыми помещениями, материалами и проектированием. Если улучшить лишь рисунок схемы, но не обеспечить его повторение на пластине, плотность на чертеже не станет плотностью годных изделий. Конструктор нового поколения техники зависит от состояния производства сильнее, чем это видно из внешних размеров кристалла.

Копировали ли западные схемы?

Да. Васенков прямо описывает воспроизведение схематических решений зарубежных серий интегральных схем — в частности, ТТЛ-семейства SN74 и быстродействующей ЭСЛ по образцу MC10000. Заказчики требовали совместимых электрических параметров, корпусов и выводов. Это свидетельство участника отрасли, а не обвинение, которому в книге противопоставлено молчание.⁶

«Всё приходилось делать самим», — пишет он уже о другом: процессах, оборудовании, литографии, измерениях и испытаниях.⁶ Схемотехническое заимствование не давало готового технологического маршрута с параметрами всех

операций. Именно на этом различии строится его объяснение.

В свидетельстве Васенкова я искала ответ сразу на два вопроса: откуда взята схема и кто освоил её изготовление. Он говорит и о зарубежном образце, и о самостоятельной технологической разработке. Одно слово «копирование» оставляет в тени вторую часть; одно слово «самостоятельность» — первую. Оба ответа находятся в одном источнике.⁶

Я разделяю здесь два счёта. В счёте оригинальных схем чужое решение остаётся чужим. В счёте производственных работ остаётся труд тех, кто освоил его изготовление. Если вычеркнуть первый факт, получится преувеличенная самостоятельность; если второй — исчезнут реальные заводы и технологи. Оценить последствия выбранного курса можно по следующему поколению изделий: насколько быстро оно появилось, чего стоило освоение и могла ли отрасль сама определять дальнейшее направление.

Интермедия. Чернобыль: кто отвечает за остановку

26 апреля 1986 года — пересмотр выводов в 1992 году

Крупная установка может годами выдавать полезный результат и сохранять опасное свойство, которое проявится лишь при определённом сочетании условий. Чернобыльская авария ставит перед всей предшествующей историей вопрос: кто обязан увидеть это сочетание прежде, чем оно сложится?

Доклад INSAG-7, опубликованный МАГАТЭ в 1992 году, пересмотрел объяснение аварии 1986 года с учётом новых сведений. В его выводах соединены особенности конструкции РБМК, действия персонала и недостатки регулирования безопасности. Важное место занимают дефекты аварийной защиты, положительная обратная связь по реактивности и недостаточное доведение сведений об опасных свойствах до эксплуатирующего персонала.¹

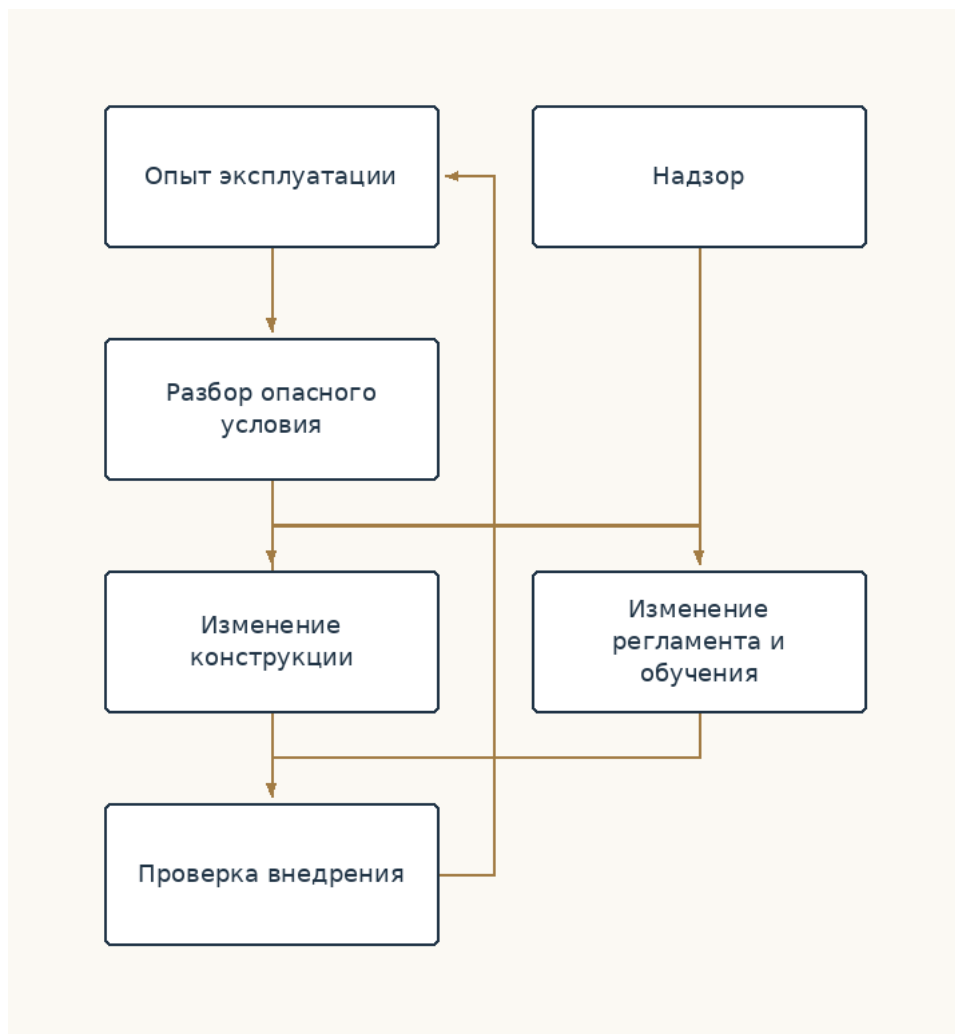
Инструкция и устройство должны защищать вместе

Предисловие к докладу выделяет разрыв обратной связи между конструкторами, изготовителями, строителями, операторами и надзором, а также неясность ответственности. Обсуждение «культуры безопасности» относится ко всей этой организации работы. Требования, записанные в правилах, оставались недостаточными, когда их не обеспечивали конструкция, обучение и исполнение.¹

Это существенно меняет вопрос к человеку у пульта. Он должен действовать правильно. Но действовать правильно он может, достоверно зная установку и опираясь на непротиворечивую инструкцию и надёжную защиту. Осведомлённость оператора, надёжность защиты и соблюдение установленных условий работы должны обеспечиваться вместе.

Я возвращаюсь здесь к испытателю, который ищет неисправный разъем. Его работа предотвращает конкретный отказ. Чернобыль требует следующего уровня ответственности: сведения об обнаруженной опасности должны менять устройство всей эксплуатации. Если информация остаётся в одном кабинете, следующий коллектив продолжает работу без полученного другими знания.

Схема. Кому должно вернуться знание об опасности



Конструкция, инструкция, знание опасностей и действия оператора образуют систему безопасности с обратной связью.

Аналитическая схема обратной связи по INSAG-7; не схема аварии.

Мера силы — устранённая опасность

Успех атомной отрасли измерялся мощностью, выработкой, топливным циклом и строительством новых блоков. После аварии в этом ряду особенно отчётливо виден ещё один результат: опасное условие обнаружено, доведено до

всех затронутых организаций и устранено проверяемым изменением. Такой результат редко становится праздничной датой. Тем важнее учитывать его при оценке отрасли.

Чернобыль ставит самостоятельный вопрос: как научная держава распоряжается созданной мощностью? Для продолжения большой технической программы нужны не только ресурсы и исполнители, но и возможность остановить работу, пересмотреть прежнее решение и передать неприятное знание без потери его содержания.

Три проверки · итог части III

Школа	Производство	Пользователь
Есть: лаборатории связаны с подготовкой технологов.	Есть: атомное оборудование, сварка, измерители и микросхемы изготавливаются повторно.	Частично: эксплуатация даёт обратную связь, но Чернобыль обнаруживает её опасный разрыв.

Оценка относится к описанным случаям, а не к каждой отрасли СССР.

Часть IV. Машина и решение

Половина оборудования «Минск-32» остаётся в Васильеве. Другой автомобиль уже добрался до строящегося КамАЗа. Шамаев получает поручение доставить оставшийся груз; позднее ящики войдут в машинный зал через окно.¹

Прежде чем компьютер начнёт считать заводской план, его надо привезти, собрать и наладить. Затем возникнет другая работа: договориться, что означает каждая запись. Программа сопоставит потребность с остатком лишь тогда, когда склад и цех говорят об одной детали. В этой части исполнители связывают машину с её пользователем. От транслятора и операционной системы рассказ перейдёт к предприятию, общегосударственной сети и управлению сложным проектом. На каждом уровне меняется круг участников, которым предстоит отвечать за данные и решения.

Время: 1961: проект АЛЬФА · 1962: встреча Глушкова с Косыгиным · 1968: СПУТНИК · 1971: ДИСПАК · 1973: ЭВМ КамАЗа.

Три вопроса к этой части: кто учится продолжать исследование? Кто может повторить изделие? Кто пользуется им и возвращает сведения об ошибках?

Глава 12. Кто заставлял компьютер работать

1958–1990 · Новосибирск — Снежинск — Дубна

Машину можно было ускорить, не меняя её электронных элементов. В 1958 году Андрей Петрович Ершов предложил алгоритм, выбиравший порядок вычисления арифметического выражения с меньшими затратами регистров — быстрых ячеек процессора. Часть выражения, требовавшую больше регистров, следовало вычислять первой. Эта идея получила развитие в оптимизирующей трансляции: переводя программу в машинные команды, транслятор улучшал способ её исполнения.¹

У такой работы была собственная математика. Программу представляли графом: вершины обозначали действия, связи — переходы и зависимости. Это позволяло исследовать, где значение ещё понадобится, какие вычисления повторяются, когда занятую память можно освободить. Ершов занимался графовыми моделями программ и экономией памяти в 1960-е годы; Владимир Николаевич Касьянов позднее проследил связь этих исследований с практическими системами трансляции. Математическая схема становилась инструментом распределения ограниченных ресурсов.¹

Коллектив Ершова в Новосибирске создавал систему АЛФА. Её язык расширял возможности Алгола для вычислительных задач, включая операции над многомерными массивами. Проект транслятора был готов в первой половине 1961 года. Система состояла из 24 блоков; такое дробление помогало уложиться в оперативную память объёмом 4 тысячи слов. Геннадий Кожухин координировал первую часть транслятора, Игорь Поттосин — вторую.²

Эксплуатация сразу изменила первоначальные решения. Транслятор останавливался на первой обнаруженной ошибке. Пользователю приходилось исправлять её, снова

запускать перевод и ждать сообщения о следующей. Разработчики добавили продолжение анализа после ошибочного участка. При больших программах слишком медленно работало распознавание имён — изменили способ поиска. Чрезмерно дорогую обработку распределения памяти также пришлось переделать.²

Право менять рабочую программу

Возникла и проблема исправлений. Поначалу обнаруженную ошибку немедленно устраняли в рабочем экземпляре транслятора. Иногда такое вмешательство ломало систему. Тогда установили порядок: изменение сначала проверяли на наборе тестов и реальных задач, затем включали в рабочую версию. Единственным официальным хранителем версий стал Юрий Михалевич. Пользователи получали обновления через специальную группу сопровождения. Работоспособность программы теперь зависела и от дисциплины её выпуска.²

На БЭСМ-6 другой масштаб той же проблемы проявился в организации вычислительного центра. В 1969 году Владимир Фёдорович Тюрин предложил создать собственную операционную систему в НИИ-1011, будущем ВНИИТФ. Разработка ДИСПАК — «диспетчера пакетов» — началась в январе 1970 года. В марте 1971-го первую версию предъявили на испытания. В группе работали Юрий Озорнин, Николай Шулепов, Светлана Зельдинова, Владимир Карякин, Виталий Зуев и Людмила Кошкина.³

Планировщик проверял, есть ли ресурсы для очередной задачи, запускал её либо откладывал. Результаты временно накапливались на системных носителях. Для пользовательских задач предусматривались 16 программных каналов. Запись на магнитную ленту сопровождалась контрольным чтением: программисты обеспечивали сохранность результата быстрого вычисления.³

ДИСПАК в 1972 году позволила объединять БЭСМ-6 общей дисковой памятью и автоматически перераспреде-

лять задачи. В 1976-м заработал терминальный коммутатор на 64 терминала с выходом на семь БЭСМ-6. Пользователь мог отправить задачу на выбранную машину и получить результаты у своего терминала. Программное обеспечение коммутатора машин разрабатывала Зельдинова, средства передачи сообщений между задачами — Тюрин. Объектом управления становилась совместная работа нескольких машин.³

За этим внешним удобством стояла настройка под конкретное оборудование. Исследование сохранившейся версии ДИСПАК, выполненное Л. А. Брухисом и А. П. Ильиным, показывает состав обязательных параметров: размер оперативной памяти, носители загрузки, ввода и вывода, устройства хранения статистики, типы и подключения терминалов. Генератор системы собирал рабочую конфигурацию с учётом этих сведений. Программист вычислительного центра должен был знать и текст системы, и фактическую комплектацию машины.⁴

Для передачи такого знания выпускали отдельные руководства. В 1973 году появились издания для пользователя и для системного программиста с оператором. Руководство 1980 года, рассчитанное также на администратора и инженера, занимало 151 страницу. В 1985-м вышла книга Тюрина «Операционная система „Диспак“» объёмом 336 страниц. Исправления в версию для БЭСМ-6 продолжались до конца 1988 года. Поддержка установленной техники сама становилась многолетней инженерной работой.⁴

Следующим шагом стало соединение машин разных типов. В Объединённом институте ядерных исследований в Дубне сеть ЛНЕТ обслуживала БЭСМ-6, CDC, ЕС ЭВМ, машины семейства СМ. Универсальную программу KERMIT внедрили для обмена файлами между различными компьютерами. Общая задача физиков заставляла согласовывать несовместимые по устройству вычислительные системы.⁵

Примерно в 1988 году ЛНЕТ подключили через московский ВНИИПАС к международной компьютерной сети.

Внешняя связь работала со скоростью до 9600 бит в секунду. Под руководством Николая Николаевича Говоруна развивали обмен с зарубежными физическими центрами: учёные, участвовавшие в экспериментах ЦЕРНа, обменивались файлами и электронной почтой, обращались к удалённым машинам. В 1990 году сеть Ethernet со скоростью до 10 мегабит в секунду охватила уже половину основной площадки ОИЯИ.⁵

БЭСМ-6 в Дубне вывели из эксплуатации в конце 1989 года. Созданные программы сохраняли ценность: группа И. Н. Силина подготовила настольную совместимую машину «МИКРОБ», способную выполнять прежние программы БЭСМ-6. Накопленный программный труд влиял уже на требования к следующему компьютеру.⁵

Светлана Зельдинова: между машинами и пользователями

Зельдинова в истории ДИСПАК — не просто фамилия в списке сотрудников. Она разрабатывала программное обеспечение коммутатора машин — участка, который позволял нескольким вычислителям работать как доступный пользователю комплекс.³ Человек у терминала видел удобство отправки задачи. Программист обеспечивал порядок, при котором сообщения и работа попадали туда, куда предназначались.

Эта роль помогает точнее оценить силу вычислительного центра. По количеству процессоров пользователь ещё не узнает, какой ресурс получит для своей задачи. Между ним и машиной работают средства связи, планировщик, правила доступа и обработки результата. Эта повседневная инженерная работа определяет полезную отдачу ЭВМ.

История АЛЬФА добавляет ещё одного такого участника — Юрия Михалевича, официального хранителя версий. Его функция возникла из конкретной неудачи: поспешное исправление могло сломать рабочую систему.² Сопровождающий специалист должен был иметь право остановить необ-

катанное изменение. Так профессиональная память закреплалась в процедуре.

Однако сохранение программы не сохраняет автоматически производство следующей машины. К М-13 мы вернёмся с этим различием: можно иметь собственные алгоритмы и квалифицированных программистов, но ждать изготовления аппаратуры. Программная и производственная готовность должны встретиться в одном сроке.

Судьба М-13 · программа и машина

Проект	Документация	Завод	Поставка	Приёмка
1979: включён в план НИИВК	1980–1982: передача комплектов и фотооригиналов	1983: решение о ЗЭМЗ; 1984: запуск освоения	1986: первые две машины	1991: комплекс на объекте

Это разные рубежи одного проекта.

Как это работало · Что улучшает транслятор

Программа на языке высокого уровня задаёт вычисление в форме, удобной человеку. Транслятор переводит её в команды конкретной машины. Один и тот же результат иногда можно получить разным порядком действий, используя различное число быстрых регистров или обращений к памяти.

Оптимизация выбирает более выгодный способ при сохранении требуемого смысла программы. В реальных вычислениях это требует внимания к особенностям чисел, памяти и языка: внешне похожие перестановки не всегда равнозначны.

Поэтому ускорение программой — самостоятельная инженерная работа. Алгоритм Ершова служит конкретным примером того, как организация вычисления снижает потребность в ограниченном ресурсе машины.¹

Интермедия. ЕС ЭВМ: зачем выбрали совместимость

1966–1972 · Москва — Минск — Ереван — ГДР.

Пользователь покупает компьютер ради работы, которую сможет выполнить. Если переход к другой модели заставляет переписывать программы, смена оборудования становится новым проектом. Чем больше накоплено программ, тем дороже несовместимость. Именно с этой проблемой встретились создатели Единой системы ЭВМ.

Владимир Пржиялковский перечислял множество машин, выпускавшихся или готовившихся к выпуску во второй половине 1960-х: БЭСМ-6, «Весна», М-220, «Урал», «Минск», «Раздан», «Наири», «Днепр». Несовместимость затрагивала и внешние устройства. АСУ разных предприятий соединялись на основе общих кодов, интерфейсов и программных средств. Задание на ОКР «Ряд» появилось в народнохозяйственном плане 1966 года; готовить аванпроект предстояло в 1966–1967 годах.¹

Аргумент разработчика

Выбор архитектуры IBM System/360 был выбором семейства, в котором машины разной производительности могли сохранять программную совместимость. Владимир Левин, руководивший разработкой аванпроекта, объяснял свою позицию доступностью документации и программного задела. Обсуждались также родственные варианты RCA, ICL и Siemens. По его свидетельству, окончательная ориентация именно на IBM закрепилась к концу 1969 года.²

В этом состояла сильная сторона аргумента. Разработчик хотел дать пользователю доступ к большому объёму уже накопленного программного труда и расширить применение вычислительной техники. Он решал задачу снабжения предприятий работоспособным инструментом. Про-

граммная совместимость имела хозяйственную ценность независимо от того, кто первым предложил архитектуру.

Однако слово «совместимость» не освобождало от работы. Советские коллективы разрабатывали электронные схемы и конструкцию, организовывали производство и проверяли взаимодействие устройств. Левин указывал на применение в ранних машинах ЕС монолитных интегральных схем, тогда как у прототипов IBM использовалась гибридная технология.² Одинаковое поведение, видимое программе, могло достигаться разным физическим исполнением.

Полезно сравнить это с железнодорожной колеей. Единый размер нужен для совместного движения, но по одному размеру нельзя построить локомотив. Аналогия ограничена: архитектура компьютера гораздо содержательнее одного стандарта. Она показывает лишь, почему принятие общего интерфейса не равнозначно получению готового производства.

Где проходило прямое заимствование

Программная история была конкретнее общего разговора о стандартах. Пржиялковский описывал работу специалистов НИЦЭВТ на машинах IBM/360 в ГДР: после командировок они получали распечатки модулей операционной системы на языке ассемблера. В 1970 году был оформлен контракт с комбинатом «Роботрон» о совместной разработке ДОС ЕС и ОС ЕС. Отладка шла в том числе на опытной ЕС-1050, которая сама ещё отлаживалась.³

Здесь использовали не только идею совместимого семейства, но и конкретное программное содержание. Скрывать этот уровень заимствования было бы неточно. Столь же неточно представлять итог простой передачей готовой системы: коллективам предстояло обеспечить её работу на создаваемой аппаратуре, выпустить документацию и поддерживать пользователей.

Для инженера это тяжёлая связанная задача. Если программа выдаёт ошибку на опытной машине, причина может быть в программе, в аппаратуре или в несоответствии между ними. Исправление одной стороны ещё не гарантирует общего результата. Разработчик всё равно разбирался в поведении заимствованной программы и сопровождал её.

Когда заимствование становится зависимостью

Критика выбранного пути имеет смысл там, где называет конкретную зависимость. Если развитие изделия постоянно требует новой документации, образцов или программ от внешнего лидера, собственный график зависит от чужого. Совместимость может открывать доступ к накопленному труду и одновременно привязывать следующую разработку к решениям другой организации. Это две стороны одного выбора.

Альтернативный курс также предстояло превратить в массовую работающую систему. Альтернативный проект также соединял бы изготовителей, периферию, программные коллективы, финансирование и сроки. Талант разработчиков следовало подкрепить планом выпуска. История ДИСПАК обнаружила, сколько самостоятельных задач решали программисты, продолжая эксплуатацию уже существующей БЭСМ-6.

Верный вопрос поэтому звучит так: какие задачи ЕС ЭВМ позволила решить, каких затрат потребовала и какие направления собственного развития следовало поддерживать наряду с ней? Сравнивать следует реальные программы, а не действующий результат с безусловно успешной воображаемой альтернативой.

У БЭСМ-6 и ЕС ЭВМ различались задачи, устройство и программная среда. Это задаёт несколько оснований для сравнения. Решение развивать совместимое массовое семейство не делает прежнюю научную машину копией. А высокая оценка БЭСМ-6 не отвечает за разработчика завод-

ской АСУ, которому нужны совместимые накопители, прикладные программы и обслуживание.

Рядом с ЕС ЭВМ развивалась оригинальная М-13, также задержавшаяся у изготовителей. Её история разделяет происхождение архитектуры и организацию выпуска: оригинальной машине тоже нужен изготовитель. Оба требуют ответа.

Судьба М-13 · оригинальность и выпуск

Проект	Документация	Завод	Поставка	Приёмка
1979: включён в план НИИВК	1980–1982: передача комплектов и фотооригиналов	1983: решение о ЗЭМЗ; 1984: запуск освоения	1986: первые две машины	1991: комплекс на объекте

Это разные рубежи одного проекта.

Глава 13. КамАЗ: вычислительная машина входит через окно

1965–1975 · Львов — Казань — Набережные Челны

Октябрь 1972 года. Половина машины остаётся в Васильеве

Из Минска на строящийся КамАЗ отправили два автомобиля с оборудованием «Минск-32». До Набережных Челнов добрался один. Второй из-за распутицы разгрузился в санатории Васильево. Вычислитель, который предстояло установить на заводе, оказался разделён между двумя местами.¹

Инженеру Виталию Андреевичу Шамаеву поручили доставить оставшийся груз и выдали чековую книжку. Его задача в этот момент была вполне вещественной: вернуть ящики к остальной машине. Собранное оборудование занесли в машинный зал через окно первого этажа. Машина № 825 заработала к началу 1973 года.¹

За доставкой стояла более ранняя подготовка. Управление организации производства КамАЗа создали в январе 1970 года. Генеральным проектировщиком АСУ стал Казанский ГНИПИ-ВТ. Осенью 1971-го группа Петра Михайловича Чечина на три месяца отправилась в Минск изучать устройство и обслуживание ЭВМ; одновременно готовили программистов.¹

Таким образом, у машины уже были будущие исполнители и определённое место в работе предприятия. Но их подготовка не отменяла проблемы доставки. Пока часть оборудования находилась в Васильеве, собирать полный вычислитель было не из чего. Путь к автоматизации включал дорогу, помещение и монтаж прежде, чем дело доходило до расчёта производственного задания.

С появлением ЭВМ потребность в обучении и наладке продолжилась. В 1974 году вычислительный центр ремонтно-инструментального завода получил ЕС-1030; её монтаж и наладку проводили в марте 1975-го. Строительство цехов, набор работников и создание вычислительной службы шли одновременно.¹

История машины, входящей через окно, заканчивается не ящиками в зале. Дальше её сотрудникам предстояло наладить работу с данными завода. Доставка сделала вычисление возможным; сведения от производственных служб определяли, что именно машина сможет вычислить.

От заводского задания к данным

Производственный смысл этой службы начинался с простого вопроса: что именно имеется в распоряжении предприятия? Для сборки изделия мало знать общий объём металла или число изготовленных деталей. Сборщик ждёт определённые детали, в определённом количестве, к определённому сроку. Избыток одной позиции не закрывает нехватку другой. Вычислительная машина позволяла сопоставлять номенклатуру, сроки и остатки гораздо подробнее, чем сводный отчёт о выполнении плана.

Практический опыт такой работы накапливался с середины 1960-х годов. В 1965–1967 годах Институт кибернетики АН УССР совместно со специалистами Львовского телевизионного завода создавал АСУП «Львов». Научное руководство осуществлял Виктор Михайлович Глушков. Среди разработчиков были Владимир Ильич Скурихин, Александр Александрович Морозов, Виктор Васильевич Шкурба, Т. П. Подчасова и В. К. Кузнецов. В 1970 году создателей системы отметили Государственной премией Украинской ССР.²

За заводским планированием стояли исследования оптимизации. Владимир Сергеевич Михалевич и Наум Зуселевич Шор развивали последовательный анализ вариантов; Шкурба применял его вместе с имитационным моделирова-

нием к задачам расписаний и календарного планирования. Планировщик выбирал допустимую последовательность работ при ограниченных ресурсах. Производственная задача превращалась в математическую, но сохраняла реальные ограничения оборудования и сроков.²

Следующим шагом стала типовая система «Кунцево». Принципиальное решение состояло в настройке программ на параметры предприятия. Сведения, различающиеся от завода к заводу, можно было менять, сохраняя общую программную конструкцию. По свидетельству специалиста по АСУ Е. Н. Филинова, приняли решение использовать эту основу для 600 разрабатываемых систем предприятий девяти оборонных министерств. Это был масштаб намеченного тиражирования.²

Переносимость зависела от общего языка производственных данных. Участник разработки АСУ В. П. Исаев выделял стандартизацию как самостоятельный этап: согласовывались терминология, классификация и кодирование технико-экономической информации, документация, требования к различным видам обеспечения системы. Создание Единой системы классификации и кодирования означало огромную работу по согласованию ведомственных привычек и обозначений.³

Практический смысл можно представить на обычной складской операции. Если конструктор, снабженец и кладовщик обозначают одну деталь по-разному, машина получает несколько записей вместо одного объекта. Если списание запаздывает, расчёт опирается на запас, которого уже нет. Поэтому службы определяли, кто создаёт запись, кто проверяет её и когда изменение попадает в учёт. Без этого вычислительный центр лишь быстрее обрабатывал недостоверные сведения.

Сначала надо узнать, что привезли

На КамАЗе эту работу хорошо видно по воспоминаниям Виталия Павловича Попова. Одной из первых задач стал

учёт поступающего оборудования и запасных частей к нему. Поставки шли с отечественных предприятий и из-за рубежа; одновременно разрабатывали кодирование и ввод информации. Первые машинограммы в 1972 году получили ещё в Казани, на вычислительной базе ГНИПИ-ВТ.⁴

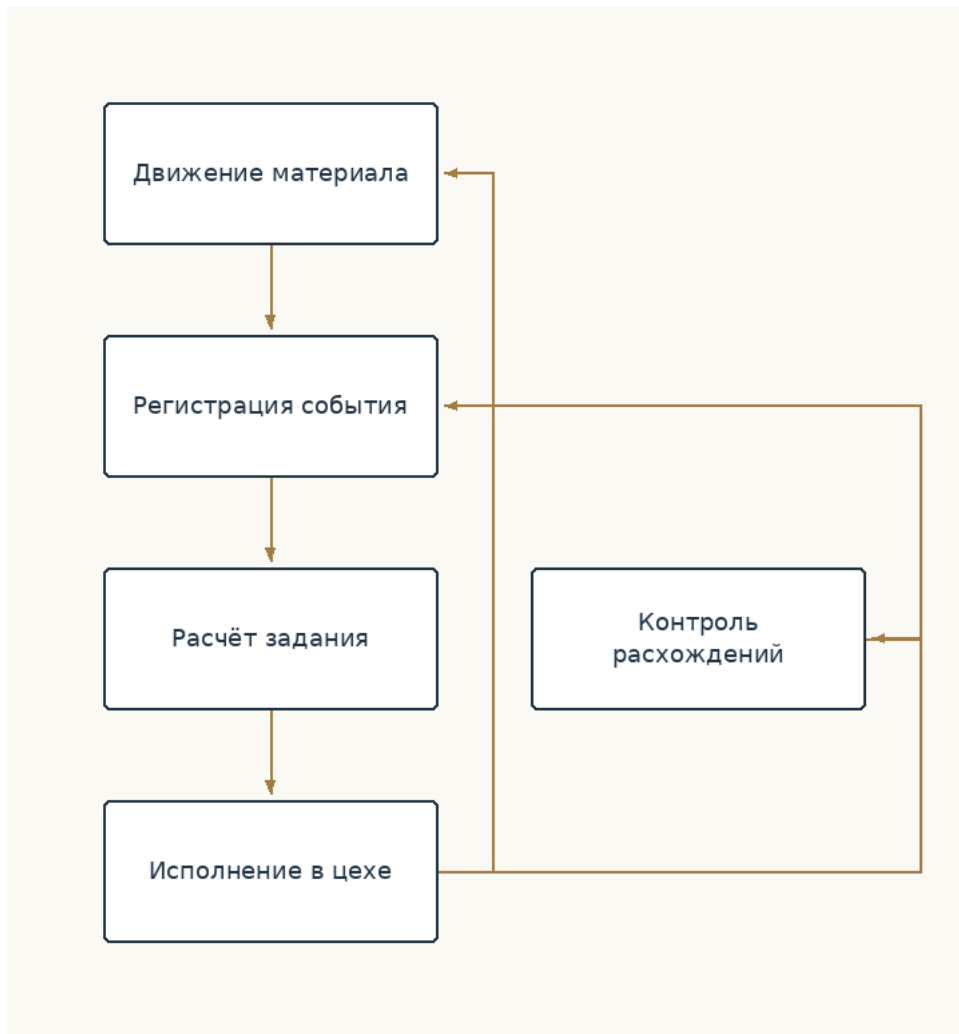
Затем круг задач расширился: номерной учёт автомобилей, классификаторы изделий и запасных частей, сводная производственная спецификация, контроль хода сборки, складской учёт, транспортные услуги, расчёт заработной платы. Для продукции установили правила кодирования с учётом общесоюзного классификатора; утвердили также обозначения задач и форм отчётности. Разные службы получали возможность работать с согласованными сведениями об одном производстве.⁴

Переходя к ЕС ЭВМ, сотрудники учились заново. Каматовских программистов направляли в Москву осваивать язык PL/1. Попов подчёркивал, что задачи неоднократно перерабатывались вслед за изменением техники, программных средств и требований пользователей. У предприятия появились постоянные специалисты по системному обеспечению, прикладным задачам, подготовке данных и техническому обслуживанию. Сопровождение АСУ вошло в повседневную работу завода.⁴

Границы полномочий оставались существенными. Исаев относил постановку целей, выбор критериев и принятие окончательного решения к ответственности человека. Машина обрабатывала исходные данные и рассчитывала варианты; руководитель определял приоритет заказа, допустимость сверхурочной работы или изменение производственной программы. Именно это определяло АСУ как человеко-машинную систему.³

Компьютер должен был знать о нехватке детали раньше, чем её обнаружит сборщик. Но исправить нехватку предстояло людям.

Схема. Замкнуть событие и запись



Событие на производстве меняет учётную запись; расчёт по обновлённым данным возвращается на завод в виде задания.

Упрощённая логика производственного учёта, не реконструкция программы КамАЗа.

Ошибка, которую компьютер не заметит

Представим простое производственное расхождение. В спецификации указана определённая деталь; на складе записано достаточное количество. Но часть партии забракована и пока не списана. Расчёт подтверждает обеспечен-

ность сборки. У станка или конвейера выясняется обратное. Это условный пример, не отдельный эпизод КамАЗа: он объясняет зависимость автоматизации от общего порядка учёта.

Быстродействие не исправляет такую ошибку. Оно позволяет быстрее повторить расчёт по неверной записи. Исправление начинается у места, где появляется изменение: кто фиксирует брак и когда планировщик получает эти сведения? После этого программная обработка начинает экономить время.

Шамаев доставлял реальную машину. Попов с коллегами создавал способ описать реальное предприятие. Доставка и организация данных дополняли друг друга. Пока ящики оставались в Васильеве, вычислитель не мог работать на КамАЗе. Когда машина заработала, службы передавали ей сведения, в которых одинаковые слова и коды обозначали одинаковые предметы.^{1,4}

Классификатор закрепляет управленческое соглашение в технической форме. Он требует, чтобы службы согласились, что считают одной позицией, каким образом отличают модификации и кто отвечает за изменение записи. От такой договорённости зависит возможность сравнить потребность с наличием.

АСУ не снимала ответственности с директора. Она делала часть несоответствий видимой раньше. Что делать с выявленной нехваткой — изменить очерёдность, найти поставщика, перенести срок — оставалось решением людей. Преимущество возникало, когда они получали время действовать до остановки производства.

«комплексная автоматизация» — так Глушков называл необходимый следующий шаг в организации управленческого труда.²

Как это работало · Почему верный расчёт может дать неверное задание

Компьютер обрабатывает введённые данные. Если сведения о складском остатке устарели, безошибочный алгоритм может назначить работу, для которой материала уже нет. Проверка арифметики не обнаружит исчезнувшую после записи деталь.

Нужны время фиксации события, единое обозначение материала и ответственный за исправление ошибки. При движении одной партии между складом и цехом записи должны согласовываться. Иначе отдельные участки будут считать своим один и тот же запас или потеряют его между документами. Автоматизация управления поэтому включает организацию регистрации событий. Быстрая машина приносит пользу, когда информация поступает в темпе, соответствующем принятому решению.

Глава 14. Глушков у Косыгина

1955–1982 · Киев — Москва

Ноябрь 1962 года. Косыгин принимает Глушкова

Виктор Глушков мог поставить задачу своей лаборатории. Изменить порядок работы министерств его распоряжением было невозможно. Для замысла общегосударственной автоматизации следовало получить доступ туда, где собирали сведения, согласовывали планы и принимали хозяйственные решения.

В ноябре 1962 года Мстислав Келдыш привёл его к Алексею Косыгину, тогда первому заместителю председателя Совета министров. Обсуждалась автоматизация управления экономикой страны. Разработчик вычислительных машин представлял задачу человеку, чьи полномочия выходили за пределы одного научного учреждения.¹

Глушков пришёл из организации, выросшей вокруг вычислительной техники. Лабораторию он возглавил в августе 1956 года; в декабре 1957-го на её базе организовали Вычислительный центр. Там могли распределять математические и технические задачи между исполнителями. Теперь предстояло изучить гораздо более широкий порядок работы: от предприятия до органов, составлявших государственный план.²

После встречи, по воспоминаниям Глушкова, создали комиссию под его председательством. В неё вошли экономист Николай Федоренко, начальник ЦСУ Владимир Старовский и представители органов управления. Вычислительная задача получила участников со стороны экономики и статистики. У комиссии появилась возможность изучать работу министерств, Госплана и предприятий.¹

Первый рубеж был пройден: разработчики получали доступ к устройству хозяйства, которое предлагали автома-

тизировать. Дальнейшие предложения о сети и полномочиях её заказчика вырастали из этой работы. В ноябре результатом стало не строительство сети, а комиссия, способная выйти за стены института. Глушков получил возможность обследовать процессы, для которых собирался создавать систему.

Институт и проект сети

«каждая порция вновь вводимой информации, вообще говоря, изменяет информационную базу системы» — Виктор Глушков, 1982.²

В 1963 году при Институте кибернетики создали специальное конструкторское бюро математических машин и систем. Математики, программисты и конструкторы работали в одной организации, способной довести идею до технической разработки.²

Сам Глушков пришёл в вычислительную технику из алгебры: докторскую диссертацию по топологическим локально-нильпотентным группам он защитил в декабре 1955 года. В Киеве круг исследований расширился до оптимизации, автоматизированного проектирования, распознавания образов и моделирования интеллектуальной деятельности. Подготовку кадров поддерживали университетские курсы, аспирантура и научные семинары. В 1965 году начал выходить журнал «Кибернетика», в 1972-м — «Управляющие системы и машины». Создавалась среда, в которой новые задачи можно было распределять между специализированными коллективами.²

Одним из её результатов стало семейство МИР — машин для инженерных расчётов. Их устройство подчиняли задаче приблизить язык работы с компьютером к математической записи. В 1969 году приняли в производство МИР-2. Инженер получал инструмент для решения собственных задач; Глушков одновременно ставил вопрос о вычислительных средствах для управления всем хозяйственным комплексом.¹

Общегосударственная сеть связывала бы сведения разных ведомств. Производственный план определял потребность в металле, энергии, оборудовании, перевозках и труде. Изменение одного показателя отражалось на остальных. При длительном согласовании расчёты успевали устареть ещё до утверждения. Сеть должна была сократить время между получением данных, пересчётом вариантов и принятием решения.

Участник работ Виктор Васильевич Шкурба описывал один из ранних вариантов Единой государственной сети вычислительных центров: главный центр, примерно 50 мощных опорных центров, 300–400 обслуживающих центров и около 7 тысяч низовых. Опорные центры должны были соединяться широкополосными каналами и обеспечивать региональный обмен информацией. Предприятия без собственной мощной ЭВМ могли пользоваться центрами коллективного обслуживания.³

Шкурба связывал эффект сети с ускорением согласования планов. В его изложении обсуждалась возможность увеличить число последовательных пересчётов баланса с двух-трёх до восьми. Каждый пересчёт позволял уточнить взаимные потребности поставщиков и потребителей. Это был конкретный механизм улучшения планирования: больше проверенных вариантов до принятия обязательств, меньше обнаруженных постфактум несоответствий. Сеть проектировалась как общая производственная инфраструктура обработки информации.³

К 1971 году задача создания ОГАС вошла в решения XXIV съезда КПСС. В июньском номере «Науки и жизни» за 1972 год первый заместитель председателя ГКНТ Дмитрий Георгиевич Жимерин изложил официальную программу. Он сообщал, что к концу восьмой пятилетки проектированием и созданием систем управления занимались около 40 тысяч специалистов; за пятилетие ввели 417 АСУ различного назначения. На 1971–1975 годы намечалось создать более двух тысяч вычислительных центров.⁴

Жимерин одновременно перечислял препятствия: недостаток полного комплекта технических средств, слабость средств сбора информации, несоответствие параметров машин требованиям больших АСУ и отставание связи. Даже на уровне официального изложения было видно, что увеличение выпуска компьютеров решало только часть задачи. Проект соединял машины каналами передачи данных, предусматривал периферию и математическое обеспечение, а его участникам предстояло согласовать свои действия.⁴

В книге «Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС», вышедшей в 1975 году, Глушков выделил три составляющие проекта: государственную сеть вычислительных центров, общегосударственную систему передачи данных и систему математических моделей с программно-информационной базой. Отдельные главы посвящались межотраслевому балансу, размещению производства, распределительным задачам, устойчивости планов и синхронизации работы предприятий.⁵

Для реализации он предлагал заказчика высшего государственного уровня и специальный институт, отвечающий за общую концепцию. Представители института должны были работать с разработчиками подсистем, обеспечивая их согласование. Предусматривался и резерв специалистов для устранения проблем на стыках. Типовые решения следовало внедрять силами специализированных организаций: с подготовкой персонала заказчика, комплектной поставкой оборудования, монтажом, наладкой и последующим обслуживанием. В проекте была прописана организационная технология развёртывания системы.⁵

Комитет, которого не создали

Именно полномочия стали предметом острого конфликта. В своих воспоминаниях Глушков рассказывал о предложении создать Государственный комитет по совершенствованию управления и научный центр из 10–15 институтов. По его свидетельству, министр финансов Василий Фёдорович Гарбузов возражал; в результате вместо Госко-

мупра выбрали Главное управление по вычислительной технике при ГКНТ и ВНИИПОУ. Глушков считал, что при этом экономическая часть замысла ослабла, а задача была сведена преимущественно к техническому развитию сети.¹

АСУ предприятий и отраслей продолжали развиваться, но единой ОГАС в задуманном масштабе не построили. Соединяя отдельные системы, ведомства подчинили бы общим правилам свои данные, процедуры планирования и ответственность за исполнение. Работоспособность локальной системы ещё не давала её создателям права изменить порядок взаимодействия министерств.³

Общая сеть начиналась с решения об общей ответственности. Одних вычислительных центров было недостаточно.

Если бы ОГАС была построена

Это полезный вопрос, пока его не превращают в знание о несостоявшейся истории. Общая сеть могла ускорить передачу сведений и расчёт вариантов. Но она не обеспечивала сама по себе достоверности отчётности, разумности выбранных целей или согласия ведомств исполнять общее решение. Все эти условия предстояло создавать вместе с каналами и вычислительными центрами.

В заводской АСУ спор о коде детали решался внутри предприятия. В общегосударственной системе он переходил к организациям с разными полномочиями и интересами. Если изменённые данные одного ведомства показывают невыполнение обязательства другим, возникает вопрос, кто вправе потребовать исправления. Техническая связь обнаруживает конфликт, но не назначает арбитра.

Поэтому предложенный Глушковым заказчик высшего уровня имел в проекте определённую функцию. Он должен был отвечать за согласование целого, когда отдельные подсистемы подчинены разным руководителям. Специальный институт и резерв специалистов предназначались для работы на стыках, где недостаточно успеха каждого исполнителя по собственному заданию.⁵

Воспоминание о споре с Гарбузовым даёт позицию Глушкова, но не протокол, раскрывающий мотивы всех участников. Установимый итог — различие между предполагаемыми организационными полномочиями и реально выбранной структурой. Мотивы оппонентов требуют собственных свидетельств.¹

Между «ОГАС спасла бы СССР» и «проект был бесполезен» остаётся предмет исследования. Какие расчёты уже можно было выполнять? Какие данные для них имелись? Каких каналов и прав не хватало? Именно так замысел возвращается из легенды в историю управления. Сильная идея не обязана обещать спасение всего хозяйства, чтобы заслуживать серьёзного рассмотрения.

«она никоим образом не устраняет человека из системы управления» — подчёркивал Глушков о безбумажной технологии.²

Для меня в истории ОГАС важен вопрос полномочий: кто сообщает данные, кто исправляет ошибку и кто вправе изменить план? Он остаётся частью любой большой системы управления.

Глава 15. Побиск Кузнецов: четыре тысячи связанных работ

1965–1975 · Москва

Четыре тысячи работ невозможно удержать в памяти одного руководителя. Именно такой порядок величины имела сетевая модель наземного экспериментального комплекса космической медицины, которым в 1969 году занималась ЛаСУРс — Лаборатория систем управления разработками систем. По свидетельству Спартак Петровича Никанорова, лаборатория обеспечивала взаимодействие 157 целевых руководителей, в том числе 30 кандидатов и докторов наук. Связь с заказчиками поддерживала М. Б. Ветцо. Руководил лабораторией Побиск Георгиевич Кузнецов.¹

Такой масштаб предъявлял к управлению особые требования. Отдельный специалист мог знать свою установку или эксперимент, но результат зависел от готовности десятков смежников. Завершённая работа становилась исходным условием для следующей. Нехватка одного прибора, задержка документации или неподготовленное испытание могли остановить цепочку, в которой остальные участники формально выполняли свои задания.

Кузнецов пришёл к этой проблеме через научные исследования и сотрудничество с Никаноровым. В 1965 году при Московском государственном педагогическом институте имени В. И. Ленина создали возглавленный им хозрасчётный сектор сетевого планирования и управления. В 1967-м он стал лабораторией систем управления, в 1968-м — ЛаСУРс. Коллектив работал по договорам с внешними заказчиками. Среди направлений были космическая медицина, приборостроение и организация проектных работ.¹

Кузнецов в работе 1966 года о введении сетевого планирования описывал план сложного объекта через два перечня: работы и зависимости между ними. Список мероприятий без второго перечня не позволял определить реальную последовательность создания объекта. Сетевая модель показывала, какие действия можно выполнять параллельно, а какие должны дожидаться результатов предшественников.²

Её главным расчётным результатом становился критический путь — цепочка, определяющая минимальный срок завершения проекта при заданных длительностях работ. Ускорять следовало прежде всего работы этой цепочки. Дополнительные усилия на участке с запасом времени могли никак не изменить дату готовности всего объекта. По мере исполнения проекта и изменения оценок времени планировщики пересчитывали сеть. Управление получало способ отличить действительную угрозу общему сроку от громкого, но локального затруднения.²

Предположим, сборка прибора занимает десять дней, но начать её можно только после получения двух компонентов: один поступит через пять дней, другой — через двадцать. Ускорение первой поставки на три дня не приблизит готовность прибора. Сокращение второй поставки на три дня приблизит её на те же три дня. Для руководителя это означает выбор, куда направить транспорт, людей и личное внимание. На большом проекте таких зависимостей тысячи, и определить приоритеты одной памятью невозможно.

В 1968 году Виктор Игоревич Беляков-Бодин, Кузнецов и В. В. Шафранский подготовили описание систем СПУТНИК — сетевого планирования и управления тематическими научно-исследовательскими коллективами. Авторы различали три организационных механизма: достижение цели, работу подразделений и обеспечение ресурсами. Руководитель подразделения и руководитель целевого направления выполняли разные функции: один организовывал деятельность своего коллектива, другой отвечал за результат, требовавший участия нескольких коллективов.³

Как это работало · Критический путь

В сети проекта каждая работа имеет длительность и предшественников. Пока не закончены обязательные предшествующие работы, следующая не начинается. Самая длинная по времени связанная последовательность определяет ранний возможный срок завершения при заданных условиях.

Ускорение работы вне этой последовательности может не изменить общий срок. Но после пересчёта критической способна стать другая ветвь. Кроме того, одинаковых людей или оборудование иногда нельзя одновременно назначить на независимые по схеме работы: тогда приходится учитывать ресурсные ограничения. Сетевая модель помогает видеть зависимости; окончательное производственное расписание требует ещё и проверки ресурсов.^{2, 3, 4}

Общую цель последовательно разделяли на подцели, закрепляя за каждой ответственного. Детализация продолжалась до уровня, на котором исполнитель мог составить полный перечень необходимых работ. Одновременно они восстанавливали связи, терявшиеся при разделении проекта между подразделениями. Для этого предназначались листы согласования. В них фиксировалось взаимодействие участников: чей результат нужен следующему исполнителю.³

Здесь заключалась существенная особенность системы. Расчёт графика опирался на предварительную организационную работу. Авторы прямо отмечали, что полного формального аппарата разделения задачи на подзадачи ещё нет: качество этой процедуры зависит от руководителя. Компьютер помогал обработать построенную модель, а полноту самой модели должны были обеспечить люди, понимающие содержание разработки.³

Для высших уровней управления Кузнецов предложил укрупнённое представление — СКАЛАР. В тексте 1968 года он выделил шесть типов решений: назначить ответственного, определить результат, установить срок, определить состав кооперации, выбрать способ выполнения и выделить

ресурсы. Каждое задание можно было представить строкой таблицы с этими шестью характеристиками.⁴

Предлагалось также графическое отображение: символ задания делился на шесть секторов. Незаполненный сектор показывал, какая часть постановки задачи остаётся неопределённой. Руководителю не требовалось разбирать всю сеть низового уровня, чтобы увидеть отсутствие исполнителя, ресурсов или согласованного срока. Обсуждение отклонения должно было завершаться конкретным изменением задания.⁴

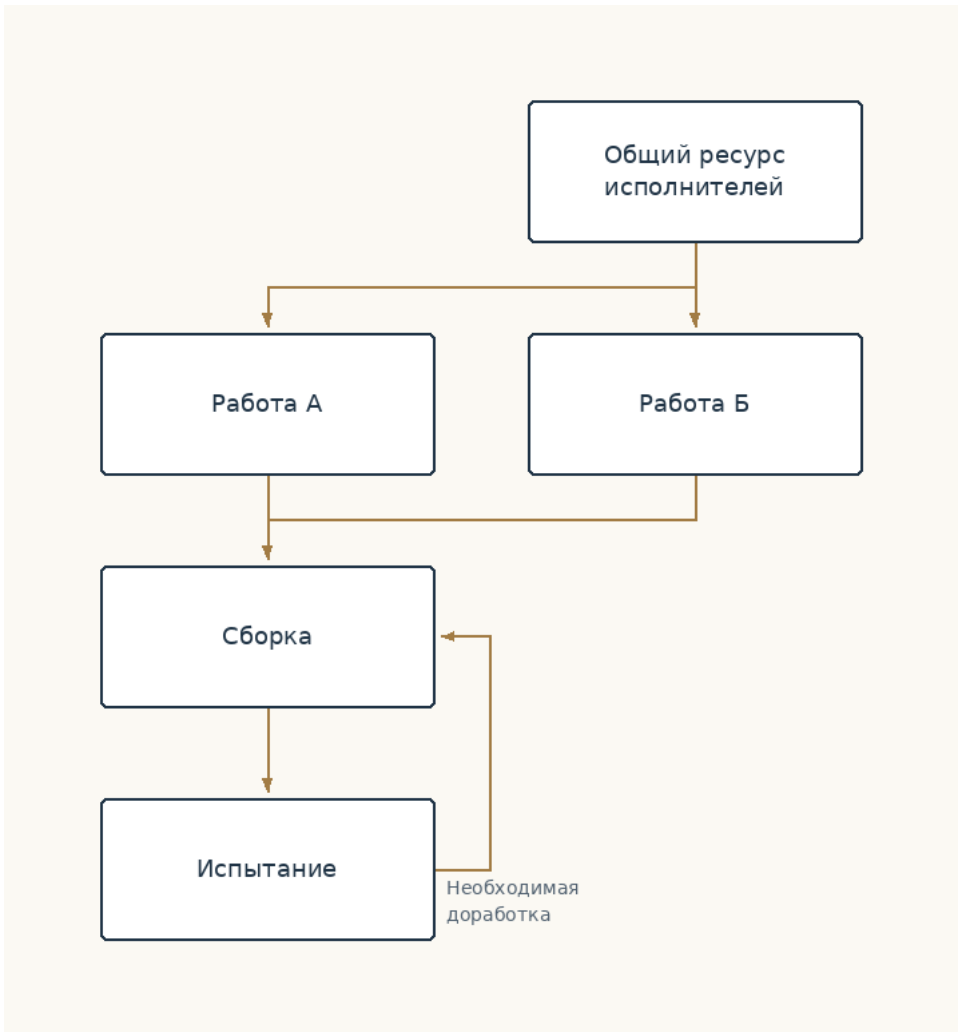
Работа получила практическое продолжение в кооперации Института медико-биологических проблем. Никаноров перечислял договоры по наземным комплексам, жизнеобеспечению скафандров, сотрудничество с ленинградским СКТБ «Биофизприбор». В 1968 году Ветцо защитила в ЦЭМИ АН СССР диссертацию о системе СПУТНИК и опыте её внедрения. Разработка становилась предметом профессиональной подготовки и передачи опыта.¹

Лаборатория потеряла своё место

В 1970 году ЛаСУРс ликвидировали после проверок и возбуждения уголовного дела против Кузнецова. Сотрудников уволили либо распределили по другим подразделениям. Созданная кооперация потеряла свой организационный центр. В 1975 году Виктор Глушков, Всеволод Семенихин и Виктор Афанасьев направили характеристику научных работ Кузнецова в Комитет партийного контроля. Среди его результатов они особо назвали системы управления комплексными научными программами СПУТНИК и СКАЛАР.^{1, 5}

Четыре тысячи работ — это четыре тысячи способов задержать общий результат, если не согласовать связи между ними.

Схема. Что связывает сетевой план



Зависимые работы образуют ветви проекта; задержка критической последовательности меняет срок завершения.

Условный пример: зависимость работ и ограничение общего ресурса. Буквы не обозначают исторические подразделения.

Ответственный за связь

Ветцо поддерживала взаимодействие заказчиков с разработчиками системы. Эта функция легко исчезает в рассказе о методе: на первом плане остаются автор модели и число работ. Но заказчик формулирует ожидаемый результат на

своём языке, а разработчик переводит его в определённые задачи, связи и ограничения. Кто-то должен добиться, чтобы стороны имели в виду одну и ту же работу.¹

Листы согласования в СПУТНИК придавали этому взаимодействию документальную форму. Исполнитель называл чужой результат, от которого зависел его собственный этап. Другой участник — принять обязательство его выдать. Если связь не определена, оба могут добросовестно заниматься собственными планами, а общая задача останется невыполненной.³

Сеть не всеведуща. Она рассчитывает последствия зависимостей, которые в неё внесли. Забытый испытательный этап может сделать красивый график неверным ещё до первого машинного расчёта. Поэтому авторы признавали роль руководителя в разделении цели на подзадачи. Математическая обработка продолжала эту предметную работу.

Ликвидация ЛаСУРс показывает хрупкость организационного результата. Метод можно опубликовать; коллектив, умеющий разбирать реальные задания разных заказчиков, нельзя восстановить одним чтением статьи. Сотрудники приобретают опыт вместе с особенностями объектов и сложившимися способами согласования. Их рассеяние разрывает эту практику даже тогда, когда тексты сохраняются.

Систему Кузнецова можно оценить по её применению к определённым программам. Для признания её значения уже существенно, что она делала видимой ответственность за связи. Большая задача не завершается суммой отчётов о занятости. Она завершается, когда результаты одних действительно дают другим возможность продолжить работу.

Три проверки · итог части IV

Школа	Производство	Пользователь
Есть: программисты и организаторы создают и сопровождают системы.	Частично: локальные решения воспроизводятся, общегосударственная ОГАС не построена.	Частично: предприятия пользуются АСУ, межведомственный обмен остаётся нерешённой задачей.

Оценка относится к описанным случаям, а не к каждой отрасли СССР.

Часть V. Для исследователя и для человека

Стависский поднимается из пультовой в анализаторную. На миллиметровке появляется форма нейтронной вспышки; по мере выхода ИБР на режим импульс сужается. 23 июня 1960 года новая установка предъявляет физикам то, ради чего её строили: короткий сигнал для измерений.¹

У результата появляется пользователь. Для него важны свойства источника, прибора или материала в собственной работе. Исследователь измеряет время пролёта нейтрона, судостроитель проверяет сварное соединение, экипаж готовит следующий рейс, врач участвует в прививочной кампании. Их задачи различны, но каждая требует устойчивого продолжения после первого успеха. Здесь высокая технология встречается с повседневной эксплуатацией, а в конце части — с учеником, которому предстоит научиться ставить новые задачи.

Время: 1959: Ил-18 на линиях и массовая вакцинация · 1960: ИБР · 1963: физматшколы · 1970: испытания К-162.

Три вопроса к этой части: кто учится продолжать исследование? Кто может повторить изделие? Кто пользуется им и возвращает сведения об ошибках?

Глава 16. Титан для глубины

1949–1970 · Ленинград — Верхняя Салда — Северодвинск

28 декабря 1963 года. Цех № 42 принимает титан

В цехе № 42 северодвинского завода № 402 заложили будущую К-162 проекта 661. Предприятие уже построило первую советскую атомную подводную лодку. Теперь опыт корпусного производства предстояло перенести на другой металл — и изменить саму рабочую среду.¹

Пол покрыли мраморной крошкой и отполировали, стены окрасили в светлые тона. Такая чистота стала частью технологии титана. Материал, обещавший выигрыш в массе и прочности, предъявлял собственные требования к подготовке и соединению деталей. Заводу предстояло выдержать их на целом корпусе.

При освоении сварки рядом со сварщиком появился рабочий по защите — «поддувальщик». Он защищал нагретый металл с обратной стороны шва. Два человека работали по разные стороны одного соединения; качество зависело от обоих. Контроль проводили на промежуточных операциях, пока обнаруженный дефект можно было устранить до дальнейшей сборки.¹

Закладка обозначила начало постройки, а не её окончание. К-162 была построена в 1969 году. На испытаниях 1970-го она достигла 44,7 узла — около 83 километров в час под водой. Корпус работал вместе с энергетической установкой, двигателями и управлением.^{6, 7}

За результатом испытаний остался освоенный порядок изготовления: чистота рабочего места, защита шва и контроль до следующей операции. Завод получил возможность строить последующие титановые лодки. Новый материал вошёл в корпус вместе с новой работой людей.

От слитка к корабельному листу

Титан привлекал кораблестроителей сочетанием небольшой массы, высокой прочности и стойкости в морской воде. Кроме того, он был немагнитным. Но перенести эти преимущества из справочника на стапель оказалось трудно. В 1958 году перед будущим «Прометеем» поставили задачу создать производство крупных титановых листов и штамповок. Metallурги добивались одновременно прочности, пластичности и свариваемости: материал должен был выдерживать нагрузку, поддаваться формованию и сохранять надёжность после соединения деталей.²

В институте уже знали цену такому сочетанию. В начале 1950-х годов группа Игоря Васильевича Горынина участвовала в создании стали АК-25 для первой советской атомной подводной лодки. Заданный предел текучести составлял 60 килограмм-сил на квадратный миллиметр — приблизительно 588 мегапаскалей. Эта величина характеризовала нагрузку, после которой металл начинал необратимо деформироваться. Разработанный состав осваивали на Ижорском заводе.³

Горынин пришёл в ЦНИИ-48 в 1949 году после Ленинградского политехнического института. Директором института с 1958 года был Георгий Ильич Капырин, специалист по броневым и судостроительным материалам. У истоков титанового направления стояли Борис Борисович Чечулин, Иван Васильевич Полин, Лев Соломонович Мороз, Сталь Сергеевич Ушков и их коллеги. Опыт работы со сталью давал им методы исследования и испытаний. Технологию нового металла предстояло создавать заново.³

Промышленная база формировалась на Урале. В феврале 1957 года на предприятии в Верхней Салде, будущем ВСМПО, выплавил первый титановый слиток массой 4 килограмма и диаметром 100 миллиметров. Завод вырос из производства алюминиевых полуфабрикатов, эвакуированного в 1941 году из Подмосквья. Теперь ему предстояло снабжать новым материалом авиацию, ракетную технику и

судостроение. Четырёхкилограммовый слиток был началом пути к крупным заготовкам, из которых можно было собирать корпус корабля.⁴

Трудность начиналась ещё до прокатки. Промышленный титан получали из титановой губки; вместе с ней в плавку попадали примеси. Как объясняли Чечулин, Ушков, Илиана Разуваева и Виталий Гольдфайн в книге «Титановые сплавы в машиностроении» 1977 года, вакуумно-дуговой переплав позволял удалять хлор, магний и водород. Другие примеси сохранялись, а при подсосе воздуха в плавильный агрегат содержание кислорода и азота могло увеличиваться. Поэтому одинаковое название металла ещё не гарантировало одинаковых свойств.⁵

Одни примеси повышали прочность ценой потери пластичности; другие снижали сопротивление удару. Значение имели также структура металла, термическая обработка, размеры и вид заготовки. Конструктор рассчитывал корпус по свойствам именно того листа или поковки, которые поступят в цех. В книге 1977 года авторы специально рассматривали влияние габаритов полуфабрикатов: результаты испытания небольшого образца нельзя было без проверки переносить на любую крупную деталь.⁵

В начале 1960-х годов в институте разработали морской титановый сплав и запустили участок титанового литья. Здесь изготовили первые отливки для проекта 661. Исследовательская организация получила возможность проверять материал на собственной производственной базе и передавать судостроителям уже отработанные решения.³

Рабочий по другую сторону шва

Материаловеды решали и задачу сварки толстых листов на большой протяжённости. Корабельное соединение должно сохранять работоспособность под нагрузкой и в морской среде. Отдельной проблемой был контакт титана со стальными и медными деталями: стойкость самого титана не отменяла электрохимической коррозии соседнего

металла. Поэтому разработка включала способы защиты соединяемых материалов, рекомендации конструкторам и проверку сварных узлов.⁶

В 1969 году К-162 была построена. В 1970 году на испытаниях она достигла 44,7 узла — около 83 километров в час под водой. За этой цифрой стояли корпус, энергетическая установка, движители и управление кораблём. Титановая конструкция стала одним из условий, позволивших реализовать проект.^{6, 7}

Для промышленности результат продолжился после испытаний К-162. Освоенные корпусосварочные работы использовали при строительстве следующих титановых подводных лодок. В СССР появились предприятия, способные изготовить крупную титановую заготовку, придать ей заданную форму, соединить с другими деталями и подтвердить качество готовой конструкции. Новый материал вошёл в производство вместе с оборудованием, правилами контроля и квалификацией рабочих. Именно этот комплекс сделал возможным следующий корабль.⁶

Что знал «поддувальщик»

Наиболее точная мера освоения титана находится не в рекордной скорости лодки, а в повторяемой работе у шва. Пока один рабочий выполнял сварку, другой защищал нагретый металл с обратной стороны.¹ Оба участвовали в получении одного соединения. Ошибку второго нельзя было компенсировать мастерством первого.

Упоминание мраморной крошки и полировки пола — не украшение рассказа. Оно связывает свойства материала с устройством рабочего места. Чистота должна была сохраняться там, где люди перемещали детали, готовили поверхности и соединяли их. Производственная среда входила в технологию.

Рекорд К-162 не делает титан универсально лучшим материалом для любого корабля. Выбор зависит от задачи, стоимости изготовления, ремонта и доступных производств.

В этой истории доказана возможность построить и испытать определённую титановую конструкцию, затем использовать накопленный опыт дальше. Для такой оценки не требуется объявлять неверными все альтернативные проекты.

Чечулин, Ушков, Разуваева и Гольдфайн рассматривали свойства разных полуфабрикатов и влияние примесей.⁵ Их работа обращена к конструктору, который должен выбрать не отвлечённый «титан», а материал для конкретной детали. Именно такая предметность отделяет впечатляющее свойство из таблицы от безопасного допуска на чертеже.

Как это работало · Почему сварной шов требует своей проверки

Свойства исходного листа не исчерпывают свойств готового корпуса. При сварке металл вблизи соединения проходит нагрев и охлаждение; возникают зоны с иной структурой и напряжениями. Защита металла при изготовлении и качество соединения становятся частью расчёта конструкции.

Поэтому образец основного материала, сварное соединение и крупная собранная конструкция отвечают на разные вопросы испытателя. Даже высокая прочность листа не разрешает автоматически считать таким же весь корпус. Для технологии важно повторять качество на протяжённых соединениях, выполняемых разными людьми. Рассказ о титане показывает, как выбор материала менял подготовку цеха, обучение и проверку работы.

Глава 17. Один нейтрон за две минуты

1955–1984 · Обнинск — Дубна

23 июня 1960 года. Стависский поднимается в анализаторную

Реактор выходил на режим, а подробной картины нейтронной вспышки в пультовой ещё не было. Юрий Стависский поднимался этажом выше, в анализаторную. Там форму импульса вычерчивали на миллиметровке. По этой кривой предстояло увидеть, даёт ли установка короткую вспышку, ради которой её создавали.¹

За пуском стоял замысел Дмитрия Блохинцева, предложенный в Обнинске в 1955 году: заставить пульсировать сам источник нейтронов. Теперь в Дубне этот замысел проверяли на действующем реакторе. Исследователям был нужен интенсивный короткий импульс, а для его наблюдения — собственная измерительная аппаратура.²

К концу 1959 года были готовы здания и павильоны с пролётными трассами длиной от 100 до 1000 метров. Механизм изменения режима изготовили при участии Центрального института авиационного моторостроения. Установка должна была связать работу реактора, механизма и средств регистрации в один эксперимент. В день пуска Стависский проверял результат там, где его можно было измерить.²

По мере выхода реактора на рабочий режим импульс сужался до десятков микросекунд. Кривая показывала происходящее с нейтронной вспышкой. Аппаратура, созданная физиками, позволяла сопоставить поведение установки с расчётом. Между пультовой и анализаторной лежало различие двух задач: управлять источником и установить, какой сигнал получит исследователь.¹

Для будущих опытов важна была именно короткая вспышка. Она давала начало отсчёта, от которого можно

измерять время движения нейтронов до детектора. При небольшой средней мощности ИБР получал интенсивность в импульсе, необходимую для такой работы. Исследователи увидели на миллиметровке сужение, которого добивались. Новый источник начал давать измеримый результат.

Как вспышка становится измерением

На обычном реакторе короткие порции нейтронов можно получать, периодически перекрывая непрерывный пучок; значительная часть частиц при этом теряется. ИБР создавал вспышки в самом источнике.²

Если известны момент вылета нейтрона и расстояние до детектора, по времени прибытия определяется скорость, а затем энергия. Растянутый импульс ухудшает точность отсчёта. Пропуская нейтроны через образец, физики выясняют, какие энергии вещество поглощает и рассеивает.³

Лаборатория вокруг источника

Лабораторией нейтронной физики в Дубне руководил Илья Франк. К концу 1958 года в ней было 75 сотрудников. Первоначальная средняя мощность ИБР составляла 1 киловатт, а в импульсе достигала 5 мегаватт.²

Вокруг реактора строили собственную систему измерений. Готовые промышленные электронные блоки не обеспечивали всех необходимых характеристик. Начальник сектора электроники Г. Н. Забиякин настоял на создании стандартного ряда лабораторной аппаратуры — сначала ламповой, затем транзисторной. Унификация облегчала обслуживание установок. Параллельно разрабатывали детекторы и способы обработки данных. Сведения с анализаторов научились передавать в вычислительный центр ОИЯИ, а первичную обработку перевели на ЭВМ. Появилась возможность регулярно измерять параметры нейтронных резонансов — узких областей энергии, в которых резко меняется взаимодействие нейтрона с ядром.¹

Охота за медленным нейтроном

В 1968 году ИБР использовали для задачи другого рода: обнаружения ультрахолодных нейтронов. Так называют частицы с настолько малой энергией, что подходящая поверхность способна отражать их при любом угле падения. Из такого материала можно сделать сосуд, удерживающий нейтроны внутри. Яков Борисович Зельдович опубликовал теоретические оценки этой возможности в 1959 году. Теперь предстояло получить экспериментальный сигнал от частиц, которые можно было накапливать и наблюдать длительное время.⁴

Работу вели В. И. Лушиков, Ю. Н. Покотиловский, А. В. Стрелков и Фёдор Львович Шапиро. По воспоминаниям Покотиловского, сначала попробовали короткий, примерно двухметровый нейтроновод. Детектор находился близко к реактору, и доступная защита не позволяла достаточно снизить фон. Тогда поставили медную трубу длиной 10,5 метра и вынесли регистрацию дальше от источника.⁵

Как это работало • Время вместо шкалы энергии

Источник даёт короткую вспышку нейтронов. Детектор расположен на известном расстоянии. Чем раньше пришёл нейтрон, тем выше его скорость; из скорости определяется энергия. Так часы и длина пролётной трассы становятся частью спектрометра.

Если момент вылета размыт, одной отметке времени прибытия соответствуют разные возможные времена движения. Поэтому короткий импульс улучшает определённую измерение. Одновременно нужен достаточный поток, иначе полезных событий придётся ждать слишком долго. Конструкция источника и измерительная задача здесь задают требования друг другу.^{1, 2, 3}

Изменили и режим ИБР: вместо десяти вспышек в секунду реактор давал одну за пять секунд. Ультрахолодные нейтроны регистрировали в промежутках, когда более быстрые частицы уже покидали пучок. Обычные газовые счётчики не подходили: их металлические стенки мешали

прохождению столь медленных нейтронов. Для опыта изготовили специальный тонкий сцинтилляционный детектор.⁵

Полезный сигнал был слабым — около 0,0075 отсчёта в секунду, то есть в среднем один отсчёт примерно за 133 секунды. Его проверяли несколькими способами: меняли детекторы, вводили газ в нейтроновод, перекрывали вход тонкой медной заслонкой. В том же 1968 году независимо работал Альберт Штайерль в Гархинге, также достигший диапазона ультрахолодных нейтронов. Начиналась международная экспериментальная область.⁵

Удержание нейтронов давало физикам время для точных измерений. Можно было исследовать распад свободного нейтрона и искать его электрический дипольный момент — характеристику распределения заряда, связанную с фундаментальными свойствами симметрии взаимодействий. Длительность наблюдения становилась ресурсом прибора. Но прежде они разбирались с потерями частиц в стенках ловушки.⁴

Практическое время хранения оказалось значительно меньше ожидаемого. В работе А. В. Стрелкова и М. Хетцельта, опубликованной в ЖЭТФ в 1978 году, ловушку окружили внешними детекторами. Они позволили обнаружить нейтроны, получавшие энергию при взаимодействии со стенками и затем покидавшие сосуд. В исследованных условиях именно этот механизм объяснял основную долю потерь. Совершенствуя ловушки и измеряя собственные свойства нейтрона, физики исследовали поверхность, её загрязнения и обмен энергией между веществом и частицами.⁶

Тем временем развивался сам источник. В 1969 году начал работать ИБР-30, а в 1984 году — ИБР-2, созданный с участием НИКИЭТ, ГСПИ, ВНИИНМ и организаций стран — участниц ОИЯИ. Исходная идея Блохинцева получила несколько поколений технического воплощения.²

ВНИИНМ — Всесоюзный научно-исследовательский институт неорганических материалов. См. также словарь.

ГСПИ — Государственный специализированный проектный институт. См. также словарь.

В исследовании нейтрона собственная мастерская и право изменить установку оказывались столь же необходимы, как уравнение.

Слабый сигнал — сильное доказательство

Один полезный отсчёт примерно за 133 секунды выглядит почти ничем. Но научная ценность измерения определяется тем, можно ли отличить исследуемый эффект от фона и проверить объяснение. Поэтому изменение детектора, газа в нейтроноводе и положения заслонки было существенной частью опыта, а не второстепенной наладкой.⁵

Тот же прибор способен дать неверную уверенность, если ожидание результата заменяет проверку. Дубненские исследователи меняли условия, от которых сигнал должен был зависеть. У них была возможность спросить установку ещё раз другим способом. Собственная аппаратура давала не только независимость снабжения: она позволяла перестраивать эксперимент под возникший вопрос.

Приборостроение участвует в самом исследовании. Изменение нейтроновода и способа регистрации делало наблюдаемым то, что прежде закрывал фон. В этой работе инженерное решение непосредственно открывало новую физику.

Глава 18. Ил-18: право на следующий рейс

1957–1988 · Москва — воздушные линии СССР — домашнее хозяйство

20 апреля 1959 года. Ил-18 входит в расписание

На Ил-18 начали продавать билеты: самолёт вышел на линии Москва — Адлер и Москва — Алма-Ата. С первого полёта опытной машины 4 июля 1957 года прошло меньше двух лет.¹

Испытатели передавали машину пассажирской службе. Теперь взлёт, посадка, осмотр и обслуживание складывались в повторяющийся цикл. Для пассажира результатом разработки стала возможность купить билет; для конструктора началась проверка срока службы, надёжности и ремонта. Каждый выпущенный самолёт должен был возвращаться в расписание после очередного рейса. Серийный парк связывал работу конструкторского бюро с ежедневной работой экипажей и наземных служб.

Машина для пассажира

До этого разработчики сравнили два двигателя: НК-4 Николая Кузнецова и АИ-20 Александра Ивченко. Оба прошли государственные и эксплуатационные испытания. Для серийного парка выбрали АИ-20 как более надёжный. Решение определяло не только характеристики самолёта, но и его будущую службу на линиях.³

Ил-18 создавали специально для пассажирских перевозок. Четыре турбовинтовых двигателя, герметичный фюзеляж и кондиционирование подчинялись этой задаче. По объяснению конструктора С. И. Дмитриева, совмещение пассажирского и транспортного назначения ухудшило бы необходимые характеристики. Коллектив выбрал определённого пользователя и строил машину под его работу.³

Сергей Владимирович Ильюшин ставил перед конструкторами задачу сделать воздушный транспорт доступнее. Генрих Васильевич Новожилов вспоминал: после поездки в Сочи Ильюшин говорил, что самолётами пользуются преимущественно состоятельные люди и командированные, за которых платят учреждения. Он хотел приблизить стоимость авиабилета к купейному железнодорожному. Разработчики снижали затраты на перевозку каждого пассажира, увеличивая вместимость, выбирая экономичную силовую установку и обеспечивая длительную эксплуатацию самолёта.²

Работа над двигателем продолжалась после начала выпуска. Техническое описание АИ-20А, подготовленное Ивченко с сотрудниками в 1962 году, фиксировало уже вторую, третью и четвёртую серии семейства. Четвёртая получила обозначение АИ-20А. Различия между ними сообщались в заводских бюллетенях; отдельно выпускались сборники изменений. В предисловии прямо предусматривалось дальнейшее обновление конструкции через новые бюллетени.⁴

Для эксплуатационников это имело конкретный смысл: название АИ-20 само по себе не описывало все особенности установленного двигателя. Инструкция учитывала серию и внесённые изменения. Техническая документация связывала конструкторское бюро, серийный завод и обслуживающих машину специалистов. Доработка становилась частью действующего парка через установленную процедуру, которую можно было проверить по документам.⁴

Особое внимание конструкторы уделяли системе управления воздушным винтом. При отказе двигателя винт мог создавать большое сопротивление. Его лопасти переводили во флюгерное положение, уменьшая тормозящее действие потока. Техническое описание подробно разбирало работу регулятора и механизмов изменения шага. Для пассажирского самолёта согласованность двигателя, винта и автоматики имела такое же значение, как мощность исправной установки.⁴

Другой задачей была усталость конструкции. Герметичный фюзеляж при каждом высотном полёте испытывал перепад давления; нагрузки многократно повторялись. В ОКБ учитывали опыт катастроф британской «Кометы», связанных с усталостным разрушением гермокабины. Для Ил-18 разрабатывали испытания фюзеляжа, узлов и деталей на повторные нагрузки, усиливали ответственные участки, вводили дублирующие элементы. Расчёт должен был охватывать тысячи будущих полётов.³

Подпись под продлением ресурса

В 1958 году Новожилов стал заместителем главного конструктора и занялся внедрением Ил-18 в эксплуатацию. Позднее в беседах с Феликсом Чуевым он рассказал о работе с инженером Константином Денисовичем Усиковым над программой увеличения межремонтного срока. Они предложили учитывать технический срок службы самолёта, выходя за рамки последовательных гарантий изготовителя и ремонтных предприятий.⁵

Ильюшин не подписал предложение сразу. По воспоминаниям Новожилова, главным вопросом для него оставалась безопасность. После замечаний программу доработали, затем документ получил подпись и методику начали применять. Продлить работу машины означало обосновать, сколько она ещё может служить и при каких условиях. Экономический выигрыш зависел от качества этой инженерной оценки.⁵

Существование отдельной системы обслуживания видно по документам Министерства гражданской авиации. Регламент Ил-18 1974 года содержал периодические формы работ по планеру и силовым установкам. В издании 1983 года оперативные формы охватывали также авиационное и радиоэлектронное оборудование. Самолёт сопровождался постоянно действующим набором требований к подготовке и обслуживанию.⁶

Развивалась и пассажирская компоновка. Ил-18Е середины 1960-х годов мог вмещать до 120 человек при максимальной плотности размещения. Одновременно меняли кресла, отделку, гардеробы, туалеты и буфет. С увеличением числа мест менялись организация салона и обслуживание пассажиров.³

За общей историей типа стояли биографии отдельных машин. Ил-18В СССР-75781 построили в сентябре 1961 года на московском заводе «Знамя Труда». С 22 октября того же года он работал в Ашхабадском объединённом авиаотряде Туркменского управления гражданской авиации. Его списали 15 декабря 1981 года после выработки назначенного ресурса. Двадцать лет эксплуатации одного борта — это последовательность рейсов, осмотров, ремонтов и решений о допуске к следующему полёту.¹

Так научно-технический результат становился транспортной услугой. Конструкторское бюро продолжало отвечать на вопросы, которые выявляла эксплуатация; заводы выпускали доработки; инженеры и техники поддерживали исправность машин. Для пассажира итог выражался просто: самолёт связывал города, и на него можно было купить билет.

Дойти до пассажира — не значит закончить разработку

Ил-18 доставался пассажиру в виде рейса, а не чертежа и не отдельного исправного самолёта. Самолёт возвращали в следующий рейс техники, располагавшие документацией и решениями о его ресурсе. Когда конструкцию улучшали, изменение должно было дойти до тех, кто обслуживал уже выпущенные машины.

Бюллетень — скромный документ рядом с фотографией нового лайнера. Но он определял, по какому варианту проверять конкретный двигатель. История АИ-20А показывает, что серийная техника продолжала изменяться.⁴ Безопас-

ность обеспечивали накопленный опыт и точное знание состояния каждого экземпляра.

Вместимость салона описывает лишь одну сторону замысла Ильюшина о доступности полётов. Доступность перевозки определяют тариф, маршрут, частота рейсов, возможность купить билет и надёжность расписания. Здесь установлены его намерение и инженерная работа над машиной. Они объясняют путь к услуге, но не подменяют исследование благосостояния населения.

Техника за дверью квартиры

Космический аппарат не сообщает, насколько хорошо снабжена бытовой техникой семья. Но и фраза «до людей ничего не доходило» требует проверки. В майском номере журнала «Холодильная техника» за 1990 год приведена динамика обеспеченности: четыре холодильника и морозильника на сто семей в 1960 году, 92 — в 1988-м. Для городского населения указано 101 изделие на сто семей, для сельского — 81. Это показатель количества техники, а не доли семей, каждая из которых обязательно имела холодильник.⁷

Публикация описывала и производственные ограничения. Преобладали компрессионные модели; абсорбционные с электрическим нагревом расходовали больше энергии. Увеличивался спрос на полезный объём и морозильное отделение. Автор отмечал распространение двухкамерных моделей. Поэтому история бытовой техники — одновременно история массового освоения и дальнейших неудовлетворённых требований.⁷

Холодильник менял организацию домашней жизни: увеличивал возможности хранения продуктов. Для оценки этого результата существенны доступность покупки, затраты электричества, полезный объём, ремонт и срок службы. Число изделий не отвечает на все эти вопросы, но опровергает представление об отсутствии массового бытового применения технологии.

Здесь особенно важно не подменять предмет. Квартира могла быть оснащена старой машиной, а семья — нуждаться в её замене. В среднем на сто семей могло приходиться больше ста приборов, а отдельная семья всё равно оставаться без нужного. Средняя обеспеченность и свободный выбор в магазине — разные показатели.

Ил-18, холодильник и полиовакцина доходили до человека разными путями: через транспортную услугу, личную покупку и систему здравоохранения. Во всех трёх случаях научно-технический потенциал приобретал общественный смысл за пределами лаборатории. Качество этого перехода оценивается отдельно в каждом случае.

Как это работало · Что в турбовинтовом двигателе создаёт тягу

В турбовинтовой установке газовая турбина передаёт значительную часть полезной мощности воздушному винту через редуктор. Винт ускоряет поток воздуха. Поэтому оценка установки включает двигатель, редуктор, винт и систему управления ими.

На самолёте к этому добавляются воздухозабор, размещение, вибрации и обслуживание. Характеристика двигателя на стенде и расход топлива самолёта на маршруте связаны, но не тождественны. Для пассажирской эксплуатации существенны также ресурс, регулярность рейсов и возможность устранить неисправность. Так становится понятнее, почему история Ил-18 продолжается после первого полёта и не заканчивается таблицей мощности АИ-20.

Интермедия. Оборона и гражданка

Заказчик — предприятие — пользователь

Пассажир покупает билет на Ил-18. Семья приобретает холодильник. Ребёнок получает вакцину. В этих трёх случаях результат советской науки и промышленности пришёл к человеку через разные учреждения — транспорт, торговлю и здравоохранение. Все три пути включали собственные гражданские задачи.¹

Но сильный довод скептика устроен иначе: лучшие ресурсы могли направляться в оборону, а гражданский сектор — получать их по остаточному принципу. Существование хорошего гражданского изделия само по себе такого распределения ресурсов не опровергает. Задача количественного сопоставления вынесена в открытые вопросы; здесь проследим конкретные переходы технологии к гражданскому пользователю.

Одна технология — несколько условий применения

Сварка Патона работала на танковом корпусе и на гражданском мосте. Вычислительная техника обслуживала оборонные комплексы, научные расчёты и заводское управление. Микроэлектроника соединяла ведомственные заказы с производством компонентов. Общая технологическая основа позволяла использовать накопленный опыт в разных изделиях.²

Григорий Ханин в 2017 году писал, что административное отделение и секретность военного сектора «не позволяло передач технологий и методов управления».¹ Если читать эту формулу как отсутствие любых переходов, её опровергают уже названные случаи сварки, титановой металлургии и двигателестроения. Иной вопрос — насколько широкими и быстрыми были такие переходы:

несколько удачных примеров не дают доли для всей промышленности. Здесь спор проходит между утверждением о полном отсутствии обмена и оценкой его масштаба.

Однако гражданский заказчик отдельно определял назначение и условия использования изделия. Военная приёмка, гарантийный ремонт бытового прибора и обслуживание пассажирского самолёта проверяют разные условия работы. Изделие для многочисленных покупателей должно укладываться в их расходы, ремонтироваться в доступной мастерской, иметь запасные части. Серия меняет организацию труда и стоимость. Для гражданского применения изготовитель заново решает эти задачи, даже когда исходный физический принцип уже освоен.

Что передаётся	Что необходимо организовать заново
Знание материала или процесса	Выпуск нужного количества и требуемого ассортимента
Опыт проектирования и испытаний	Проверку именно гражданских условий эксплуатации
Подготовка специалистов	Рабочие места и ответственность за новое изделие
Освоенные компоненты	Снабжение, ремонт и доступность для пользователя

Проверка гражданского результата

Я предлагаю начинать с трёх вопросов: кто пользуется результатом, сколько людей получают к нему доступ и как долго он служит? Для вакцины важны охват и организация кампании, для самолёта — выполнение перевозок, для холодильника — исправная работа в семье. Число произведённых изделий — лишь один из ответов.

У государственного оборонного заказа есть очевидная цель — безопасность страны. Его гражданская отдача возникает там, где знания и производства получают продолжение в иных задачах. Для этого требуются решения о номен-

клатуре, цене, сервисе и ответственности перед пользователем. Рассказ о сильном ВПК становится полнее, когда можно назвать такие переходы, а также места, где они не состоялись.

По рассмотренным примерам ответ определённый: советская технологическая работа выходила далеко за пределы обороны. Общую эффективность распределения ресурсов между секторами предстоит оценивать другим исследованием — с бюджетами и отраслевыми рядами. Подменять этот расчёт одним удачным холодильником или одним военным заводом было бы слишком легко.

Влияние войны в Афганистане на гражданские программы здесь также не рассчитано: для такого вывода надо отдельно установить дополнительные военные расходы и показать, какие именно научные или производственные ассигнования они вытеснили. Общая сумма оборонного бюджета этой связи не устанавливает.

Глава 19. Вакцина для миллионов

1949–1970 · Москва — Ленинград — республики СССР

1960 год. Вакцина в драже

Примерно 95% привитых, описанных в отчёте о кампании 1960 года, получили вакцину в драже. Препарат вводили через рот, без инъекции. В 1959 году живой вакциной против полиомиелита в СССР привили 15,2 миллиона человек; в 1960-м — более 77 478 800, преимущественно от двух месяцев до двадцати лет.^{1,5}

Масштаб вырос более чем в пять раз. Медицинские службы проводили прививки и собирали сведения о заболевших. В 1961 году результаты кампании опубликовал «Бюллетень Всемирной организации здравоохранения»: за выданным драже следовала запись, по которой исследователи проверяли результат.¹

Как подготовили массовую кампанию

Организаторы согласовывали сроки. Чумаков обосновывал проведение прививок на большой территории за короткий период, чтобы быстро сократить число восприимчивых к инфекции людей. До 1970 года кампании в СССР проводили по ежегодным приказам Минздрава с указанием сжатых сроков; затем перешли к возрастной схеме.³

Полиомиелит поражал нервную систему, мог оставлять ребёнка с парализованными конечностями, а при поражении дыхательной мускулатуры требовал искусственной вентиляции лёгких. В 1949 году Джон Эндерс, Томас Уэллер и Фредерик Роббинс научились выращивать полиовирус в культуре человеческой ткани. Работа открыла путь к изготовлению вакцин и принесла исследователям Нобелевскую премию 1954 года. Джонас Солк создал препарат с инактивированным вирусом; его применение в США разрешили 12 апреля 1955 года. Альберт Сэбин разрабатывал другой

вариант — живой ослабленный вирус, который можно было вводить через рот.²

В СССР специализированный Институт по изучению полиомиелита создали в 1955 году. Его возглавил Михаил Петрович Чумаков. В 1956-м Чумаков, Марина Константиновна Ворошилова и Анатолий Александрович Смородинцев посетили США, познакомились с работами Солка, Сэбина и других вирусологов. В 1957 году институт уже выпускал инактивированную вакцину. Одновременно московские и ленинградские исследователи изучали живые штаммы Сэбина.³

У сотрудничества была чёткая научная основа: Сэбин передал исходный вирусный материал, советские коллективы исследовали препарат и разворачивали его применение. Возможность дать вакцину без инъекции облегчала массовые кампании. Впоследствии ВОЗ выделяла ещё одно преимущество орального препарата: его способность прерывать распространение полиовируса среди населения. Защита отдельного ребёнка соединялась с воздействием на передачу инфекции.²

Марина Ворошилова и работа, которую не видно в сводке

Ворошилова была самостоятельным исследователем и одним из научных руководителей этой работы. Их сын, вирусолог Константин Чумаков, вспоминал разделение ролей родителей: отец обладал исключительной организационной настойчивостью, мать была интеллектуальным лидером их тандема. За этой семейной характеристикой стоял тяжёлый распорядок. По воспоминаниям сына, Чумаков жил при институте под Москвой, и дети видели его примерно раз в неделю. Работа поглощала почти всё его время.⁴

В ноябре 1958 года Комитет вакцин и сывороток Министерства здравоохранения СССР утвердил инструкцию по изготовлению и контролю живой вакцины. В январе — апреле 1959-го под руководством Чумакова привили и обследовали 27 тысяч детей в Эстонии и Литве; под руководством Смородинцева — 12 тысяч в Латвии. В том же

году производственные подразделения института перешли к серийному выпуску препарата.³

Ленинградский коллектив представил отдельный крупный результат. В статье Смородинцева и соавторов, вышедшей в 1960 году, описана вакцинация 1,7 миллиона детей в Латвийской, Белорусской, Молдавской и Российской республиках. Среди авторов были А.И. Дробышевская, Н.П. Булычёв, Р.А. Канторович, В.И. Вотяков. Среднее снижение заболеваемости в охваченных исследованием республиках составляло от шести до десяти раз, у самых маленьких детей достигало пятнадцатикратного.⁵

Особенно показательной оказалась сезонная динамика. Там, где привили основную часть восприимчивых детей младше четырнадцати лет, привычного сезонного подъёма заболеваемости не произошло. На контрольных территориях без такой вакцинации он сохранялся. Врачи наблюдали изменение эпидемического процесса на целых территориях. Местные медицинские службы собирали сведения о заболевших, возрастах и охвате прививками — их наблюдения становились частью большого исследования.⁵

Проверку советских результатов ВОЗ поручила американскому вирусологу Дороти Хорстманн. В 1959 году она приехала изучить испытания на месте. Её положительное заключение способствовало международному признанию вакцины Сэбина, включая её принятие в Соединённых Штатах. Спустя три десятилетия Хорстманн сама описала эту поездку в статье для *Yale Journal of Biology and Medicine*. Доказательства, собранные советскими исследователями, получили независимую профессиональную оценку в разгар холодной войны.⁶

Для семьи результат науки выражался в том, что ребёнок не болел. До этой точки исследование довели тысячи людей, не подписывавших научных статей.

Чья это вакцина

Исходные штаммы Сэбина и советская массовая кампания принадлежат одной истории. Признание американского вклада не уменьшает работу Чумакова, Ворошиловой и Смородинцева. Они должны были исследовать препарат,

наладить его выпуск, организовать применение и представить результаты, которые можно было проверить.

Хорстманн приехала с внешней оценкой. Её поездка дала наблюдениям дополнительную независимую проверку.⁶ Для международного применения важна возможность сопоставить методы и результаты за пределами национальной отчётности.

Ворошилова в воспоминании сына названа интеллектуальным лидером научного тандема.⁴ Эта личная оценка дополняет историю конкретных исследований. Она возвращает человеку место, которое легко теряется за именем директора института.

На последнем участке работали медицинские службы. Они проводили прививки и учитывали заболеваемость. Без этих сведений многомиллионный охват оставался бы числом выданных доз. Сопоставление сезонной динамики позволяло увидеть изменение самой болезни в населении. Именно на этом уровне результат лаборатории становился общественным.

Как это работало · Лабораторный результат и прививочная кампания

Для лабораторного исследования достаточно контролировать ограниченный набор образцов и условий. Массовая кампания требует повторять качество препарата, организовать его доставку, учёт применения и наблюдение за результатами. Это несколько связанных видов работы, а не увеличенная в миллионы раз одна лабораторная операция.

Поэтому вклад в создание вакцины и вклад в её массовое применение следует устанавливать отдельно. Международное происхождение исходного материала, советское исследование препарата и организация кампании принадлежат общей истории. Данные об охвате и форме применения относятся к опубликованному отчёту кампаний 1959–1960 годов.¹

Глава 20. Школьник получает адрес лаборатории

1946–1980 · Москва — Долгопрудный — Новосибирск

21 января 1963 года. Ляпунов читает первую лекцию

Алексей Андреевич Ляпунов прочитал школьникам новосибирского Академгородка первую лекцию по математическому анализу. Правительственное постановление о специализированных интернатах появится только 23 августа. Занятия уже начались.¹

Михаил Алексеевич Лаврентьев и его коллеги открывали путь в науку подросткам со всей Сибири и Дальнего Востока. Встреча с исследователем становилась частью школьного обучения. Чтобы продолжить её, учёные организовывали отбор, преподавание и жизнь иногородних учеников. Для будущего физика дорога к лаборатории начиналась с места за партой; научный коллектив уже взял на себя работу школы.

Задачи по почте и месяц в Академгородке

Отбор шёл в три этапа. Сначала по школам рассылали задачи по математике, физике и химии; решения можно было отправить в университет почтой. Затем сотрудники Сибирского отделения Академии наук, преподаватели, аспиранты и студенты НГУ выезжали в областные и республиканские центры на очный тур. По описанию становления школы, он ежегодно собирал 8–10 тысяч участников. Лучших приглашали в летнюю школу Академгородка: около 600 подростков проводили месяц на занятиях с учёными. Только после этого следовал заключительный отбор.¹

У такого порядка был практический смысл. Способности школьника проверяли последовательно, а летняя школа позволяла увидеть, как он учится и справляется с новыми задачами. Расходы на поездку во второй тур брали на себя

местные органы народного образования. В 1969 году новосибирская ФМШ переехала в специально построенный учебный корпус и два общежития. Для иногороднего подростка путь к серьёзному образованию обеспечивался вполне материальными вещами: дорогой, жильём и местом за партой.¹

Другие дороги к лаборатории

Школу-интернат №18 при МГУ открыли в Москве 2 декабря 1963 года. Среди её инициаторов были ректор университета Иван Георгиевич Петровский, математик Андрей Николаевич Колмогоров и физик Исаак Константинович Кикоин. Первый выпуск 1964 года насчитывал всего 19 человек: четырнадцать поступили на механико-математический факультет МГУ, один — на физический, четверо — в МФТИ. Небольшая группа сразу вышла на следующий уровень подготовки.²

В 1967 году школа перестала принимать детей из крупных университетских городов: организаторы считали, что там уже существуют достаточные образовательные возможности. Места предназначались прежде всего тем, кому было труднее добраться до сильных преподавателей. Колмогоров занимался и общим развитием учеников: беседовал с ними о музыке, живописи, архитектуре, приносил пластинки и художественные альбомы, ходил в походы. Будущему исследователю давали широкую культурную подготовку.²

Работа охватывала и школьников, остававшихся дома. В 1966 году при МФТИ организовали Заочную физико-техническую школу. Её традиционная форма обучения строилась на пересылке письменных заданий по почте. Университетская помощь могла доходить до ученика, живущего далеко от Долгопрудного. Так подготовка охватывала новые районы, а способные дети продолжали жить дома, вместо того чтобы все переселяться в несколько интернатов.³

Первый номер журнала «Квант» появился в январе 1970 года. Главным редактором стал Кикоин, первым заместителем — Колмогоров. Они участвовали в отборе и редактиро-

вании материалов. В журнале печатались статьи, олимпиадные задачи, материалы для математических кружков и подготовки к экзаменам. Читатели присылали решения, редакция публиковала фамилии успешно справившихся с задачами. По данным архива журнала, в 1970-е годы месячный тираж доходил до 386 тысяч экземпляров. С 1980 года начала выходить «Библиотечка “Квант”». ⁴

От ученика к руководителю

На следующей ступени фундаментальное образование соединялось с настоящим исследованием. Пётр Леонидович Капица сформулировал принципы такого обучения в письме Сталину от 1 февраля 1946 года: отбирать способную молодёжь, привлекать ведущих учёных, учитывать индивидуальные склонности студентов и с самого начала вводить их в среду технического творчества. Для этого предполагалось использовать лучшие лаборатории страны. Студент должен был видеть, как возникает задача, ставится эксперимент и проверяется результат. ⁵

Физико-технический факультет МГУ появился в 1946 году. Постановление от 17 сентября 1951 года создало на его основе самостоятельный МФТИ. Институт получил четыре факультета: радиофизический, радиотехнический, аэромеханический и физико-химический. В ноябрьском приказе того же года строительное задание рассчитывалось на две тысячи студентов при ежегодном приёме 360 человек. Подготовку инженеров-физиков сразу связывали с определёнными направлениями новой техники и необходимой инфраструктурой. ⁶

Основой специализации стали базовые институты. В замысле Капицы фигурировали ЦАГИ, Институт физических проблем, лаборатория №2 Академии наук, Физический, Химической физики и Математический институты. Их научные задачи, оборудование и сотрудники должны были участвовать в подготовке студентов. ⁶ Такая организация сокращала расстояние между учебной аудиторией и иссле-

дованием: будущий специалист осваивал профессиональную работу рядом с людьми, которые её выполняли.⁵

Система начала воспроизводить собственных руководителей. Олег Михайлович Белоцерковский, выпускник Физтеха 1952 года и ученик Анатолия Алексеевича Дородницына, в 1962-м стал ректором МФТИ. В 1964 году институт открыл факультет физической и квантовой электроники, а в 1976-м — факультет проблем физики и энергетики, который возглавил Евгений Павлович Велихов. Новые направления исследований получали собственную подготовку кадров.⁶

Путь к лаборатории начинался раньше университета — с доступной задачи, сильного преподавателя и возможности до него добраться.

Ученик не обязан повторить биографию учителя

Белоцерковский окончил Физтех в 1952 году и стал его ректором в 1962-м.⁶ Это установленный случай быстрой карьеры, а не средний срок продвижения выпускников. Значение примера в другом: учреждение могло доверить собственное развитие человеку, которого недавно подготовило.

Дорога школьника до этой среды не была второстепенной социальной услугой. Если семья не может оплатить поездку или жильё, сильный преподаватель остаётся для подростка географически недоступным. Поэтому оплата дороги, интернат и заочные задания участвуют в научной истории наравне с учебной программой.^{1, 2, 3}

Такая система нуждалась и в широкой школьной основе. Отбор способен обнаружить подготовленного человека; он не восполняет автоматически неравенство первоначального обучения. Решение московского интерната отдавать места детям вне крупных университетских городов было попыткой расширить доступ к сильной среде.²

Молодому читателю здесь полезен проверяемый ориентир: искать место, где обучение соединено с действующей исследовательской задачей, есть руководитель и возможность работать самому. Искать стоит именно эти условия в

работе учреждения. Историческая система Физтеха важна именно способом организации труда ученика рядом с исследователем.

Три проверки · итог части V

Школа	Производство	Пользователь
Есть: школы, вузы и лаборатории готовят следующую смену.	Есть: освоены серии самолётов, материалов и вакцин.	Есть в описанных случаях; доступность для каждого человека не следует из среднего выпуска.

Оценка относится к описанным случаям, а не к каждой отрасли СССР.

Часть VI. Преимущество, разрыв, наследство

На совещании 5 мая 1983 года обсуждают судьбу НИИВК. Карцева уже нет в живых. Рогачёв возражает против включения коллектива в научно-технический центр; после вмешательства министра институт сохраняет самостоятельность. Изготовителя М-13 этим решением ещё не обеспечили.¹

Можно сохранить организацию и всё ещё не получить следующую машину. Можно изготовить оборудование и не довести установку до эксперимента. Эта часть различает такие состояния: открытие, рабочий образец, серию, службу у пользователя. Сравнение с зарубежной техникой тоже требует точного предмета — задачи, срока, качества, масштаба. Затем рассказ вернётся к людям и программам, потерявшим продолжение. Их история ставит практический вопрос: что именно следует сохранить, чтобы следующая работа действительно состоялась?

Время: 1964: IBM System/360 · 1969: высадка на Луну · 1975: «Союз — Аполлон» · 1986: первые М-13 · 1990-е: остановки программ.

Три вопроса к этой части: кто учится продолжать исследование? Кто может повторить изделие? Кто пользуется им и возвращает сведения об ошибках?

Глава 21. Первый — в чём именно?

1951–1981 · СССР — США — Великобритания

«Аполлон-11» и «Салют-6»: разные задачи

Высадка на Луне завершилась возвращением людей. Это и есть исходная мера результата «Аполлона-11»: 20 июля 1969 года Нил Армстронг и Эдвин Олдрин посадили лунный модуль в Море Спокойствия, Майкл Коллинз оставался на окололунной орбите, а 24 июля все трое вернулись на Землю. США выполнили задачу, поставленную Джоном Кеннеди в мае 1961 года. Для этого совместно работали ракета, корабль, навигация, связь, скафандры и наземное управление.¹

Через несколько лет соревнование на околоземной орбите дало другую последовательность результатов. 8 февраля 1974 года Джеральд Карр, Эдвард Гибсон и Уильям Поуг завершили полёт на Skylab продолжительностью 84 суток. Они исследовали Солнце, наблюдали Землю, проводили медицинские эксперименты. Этот рекорд сохранялся до экспедиции Юрия Романенко и Георгия Гречко: в декабре 1977 — марте 1978 года советские космонавты провели в полёте 96 суток.²

Разницу между этими экспедициями определяла и возможность снабжения. «Прогресс-1» открыл регулярные грузовые рейсы; в 1978–1981 годах «Салют-6» принял двенадцать «Прогрессов».³ Здесь первенство имело иной предмет, чем высадка на Луне: поддерживать уже работающую научную базу. Оба результата были технически первоклассными.

Счёт по задачам: США первыми высадили людей на Луну и вернули их. СССР создал регулярное грузовое снабжение орбитальной станции. Каждая программа оценивается по выполненной задаче.

Обнинск и Calder Hall: сеть и масштаб

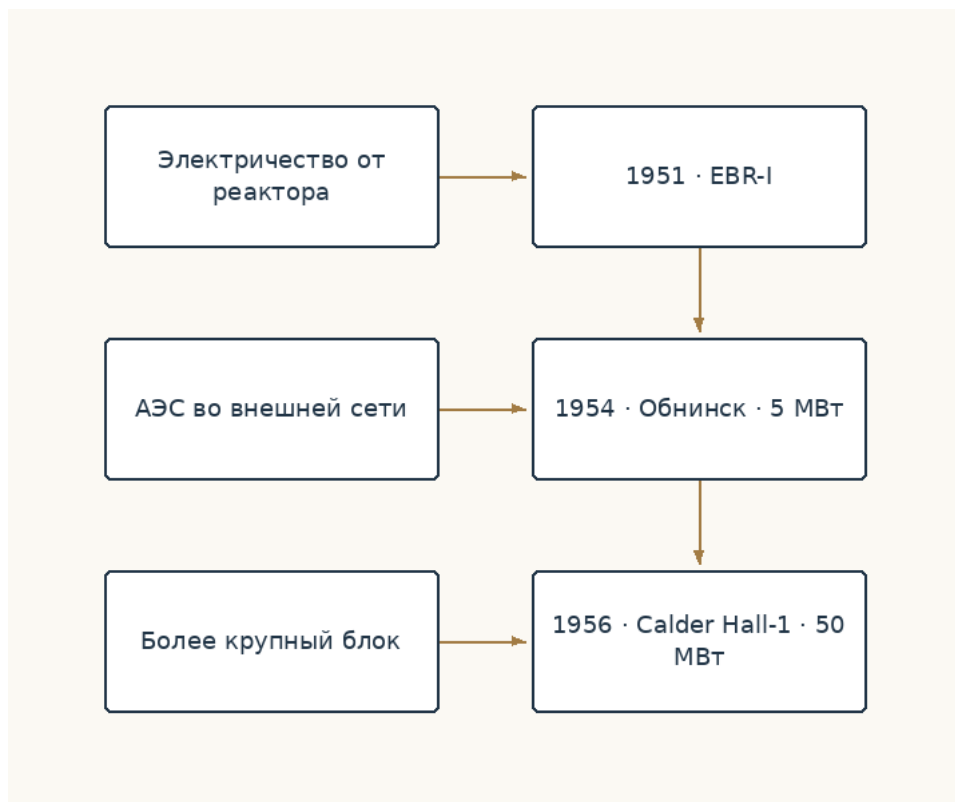
Атомная энергетика меняла сам предмет первенства. Американский экспериментальный реактор EBR-I впервые выработал электричество 20 декабря 1951 года. В июне 1954-го Обнинская АЭС мощностью 5 мегаватт электрических стала первой атомной станцией, подключённой к внешней энергосети. В 1956 году в Великобритании заработал Calder Hall-1 мощностью 50 мегаватт; в 1957-м американский Shippingport — 60 мегаватт. Разница между пятью и пятьюдесятью мегаваттами показывала переход к другому масштабу энергоснабжения.⁴

За национальными программами стояли разные инженерные решения. В США Westinghouse развивала водо-водяные реакторы под давлением, General Electric — кипящие. СССР разрабатывал и водо-водяное направление ВВЭР, и реакторы с графитовым замедлителем и водяным охлаждением. Великобритания и Франция первоначально сделали ставку на газоохлаждаемые реакторы с графитом и природным ураном; Канада — на тяжёлую воду. Поэтому выражение «западная атомная технология» скрывает несколько самостоятельных школ, разные требования к топливу и оборудованию.⁴

Обнинск установил приоритет СССР в передаче атомной электроэнергии в сеть. Дальнейшее положение отрасли определялось строительством крупных блоков, их надёжностью, выработкой и стоимостью эксплуатации. Первый действующий образец открывал направление. Затем проектировщики, изготовители и строители превращали первый опыт в значительную часть энергетики.

Счёт по этапам: EBR-I — первое получение электричества; Обнинск — первая АЭС во внешней сети; Calder Hall — следующий, значительно более крупный масштаб. Величины 5 и 50 МВт относятся к мощности, а не к сроку службы или себестоимости.

Схема. Атомная электроэнергия: три разные отметки



Приоритет открытия, выпуск изделия и результат для пользователя проверяются по разным основаниям.

Стрелки пунктиром обозначают хронологию, а не передачу проекта.

БЭСМ-6 и CDC 6600: одинаковые мегагерцы

Вычислительная техника особенно отчётливо разделяет успех машины и положение отрасли. БЭСМ-6 Сергея Лебедева прошла государственные испытания в 1967 году. Серийный выпуск начался в 1968-м; до 1987 года изготовили 355 машин. Её рабочая частота составляла 10 мегагерц, слово — 48 разрядов, быстродействие — до миллиона одноадресных команд в секунду. Конвейер команд и параллельная работа устройств позволяли достигать такого быстродействия.⁵

Американская CDC 6600 Сеймура Крэя вышла на рынок в 1964 году. Экземпляр, полученный Национальным центром атмосферных исследований США в декабре 1965-го, тоже работал на частоте 10 мегагерц, но использовал 60-разрядные слова. Центральный вычислитель обслуживали десять периферийных процессоров. Одинаковая тактовая частота сочеталась с разной организацией вычислений и обмена данными.⁶

Сильное оборудование ещё предстояло превратить в работоспособный комплекс. В начале 1965 года специалисты американского центра обнаружили, что две подготовленные для CDC операционные системы не справляются более чем с одной из десяти их тестовых программ. Центр начал создавать собственную систему. Полученная машина затем прослужила свыше одиннадцати лет. Программное обеспечение, доводка и сопровождение были самостоятельной частью результата по обе стороны океана.⁶

«не соответствовал реальным возможностям» — такая оценка графика программных работ содержится в истории эксплуатанта NCAR (перевод с английского).⁶

Счёт по срокам: CDC 6600 появилась на рынке раньше БЭСМ-6. **Счёт по быстродействию:** совпадение частоты 10 МГц недостаточно для общего победителя; сравнение проводят на одинаковых задачах, программах и правилах измерения.

Эти сопоставления дают конкретную картину. СССР достигал мирового первенства и создавал самостоятельные инженерные школы; одновременно американские компании осваивали огромные рынки совместимой вычислительной техники. Успех зависел от способности довести научную идею до работающего изделия, затем обеспечить его развитие и распространение. Между этими ступенями и решалась судьба технологического преимущества.

Сравнивая проекты, я меняю меру вместе с задачей. Лунная экспедиция высаживает людей и возвращает их на Землю. Транспортные корабли снабжают орбитальную стан-

цию. Вычислительная машина выполняет определённую программу. Это не уход от результата соревнования: так его можно установить. Общий победитель появляется слишком быстро, если незаметно перейти от даты первого опыта к числу изделий или от частоты процессора к скорости всей программы. Честный счёт начинается с согласованного задания; затем можно спорить о результате, не меняя правил в пользу любимой машины.

Глава 22. Чужой чертёж, собственная работа

1936–1983 · Химки — Москва — Калэм — Дауни — Хьюстон

Лицензия начинается в цехе

Чертежи Douglas DC-3 были американскими. Изготавливать по ним самолёт предстояло советскому заводу. В 1936 году СССР решил освоить лицензионное производство на заводе № 84 в подмосковных Химках. Переработкой документации руководил Владимир Михайлович Мясищев; внедрение было связано с именем главного инженера Бориса Павловича Лисунова. Самолёт получил обозначение ПС-84, а в 1942 году — Ли-2.¹

За покупкой лицензии последовала самостоятельная инженерная работа. Чертежи переводили из дюймовой системы в метрическую, конструкцию пересчитывали по советским нормам прочности, согласовывали с отечественными материалами и технологией. Самолёт оснащали двумя двигателями М-62ИР мощностью по тысяче лошадиных сил. С сентября по декабрь 1939 года машина проходила государственные испытания. Советские заводы осваивали американскую конструкцию и готовили её к эксплуатации в своих условиях.¹

Вместе с DC-3 осваивали плазово-шаблонный метод производства. Геометрические формы самолёта переносили на плазы и систему шаблонов, через которые согласовывали изготовление деталей и сборочной оснастки. Это помогало выдерживать размеры при серийной постройке. Приобретение включало производственное знание: как организовать выпуск множества взаимосогласованных деталей, из которых собирается летательный аппарат. Такой опыт мог использоваться и в дальнейшей работе отечественных предприятий.²

Когда направление обмена менялось

Британская программа в истории Т-3 стала принимающей стороной: независимая проверка привела Калэм к токамакам. Это другой тип обмена, чем лицензия на DC-3: советская лаборатория передавала миру основание для выбора исследовательского направления.³

Как это работало • Из публикации Nature 1969 года:

диапазон измеренных электронных температур — 100 эВ–1 кэВ; плотность — $1\text{--}3 \times 10^{13}$ электронов/см³. Авторы:

Н. Пикок, Д. Робинсон, М. Форрест, П. Уилкок, В. В. Санников. Верхняя температура — приблизительно 11,6 млн К.⁴

Проектирование JET началось в 1973 году; в 1977-м площадкой выбрали Калэм. Результат советской установки вошёл в решение о следующем международном эксперименте.³

«Союз — Аполлон»: совпасть в металле

В космонавтике участники сотрудничества соединяли две действующие технические системы. Подготовку программы «Союз — Аполлон» вели, среди других руководителей, Борис Николаевич Петров и Джордж Лоу. Техническими руководителями проекта стали Константин Давыдович Бушуев и Глинн Ланни. На советском корабле работали Алексей Леонов и Валерий Кубасов, на американском — Томас Стаффорд, Вэнс Бранд и Дональд Слейтон.⁵

Корабли различались конструкцией, аппаратурой и атмосферой кабин. В «Союзе» использовалась смесь азота и кислорода, в «Аполлоне» — кислород при пониженном давлении. Для перехода экипажей NASA разработало и изготовило специальный стыковочный модуль, служивший шлюзом и переходным коридором. Разработчики согласовывали герметичность, нагрузки, сближение, захват и аварийное расцепление кораблей.^{5, 6, 7}

Инженер Rockwell International У.Л. Суон описал эту работу в докладе 1976 года. Каждая страна изготавливала свою часть совместимой стыковочной системы. Всё, что определяло их взаимодействие, проверяли совместно. В Москве проводили динамические испытания моделей в мас-

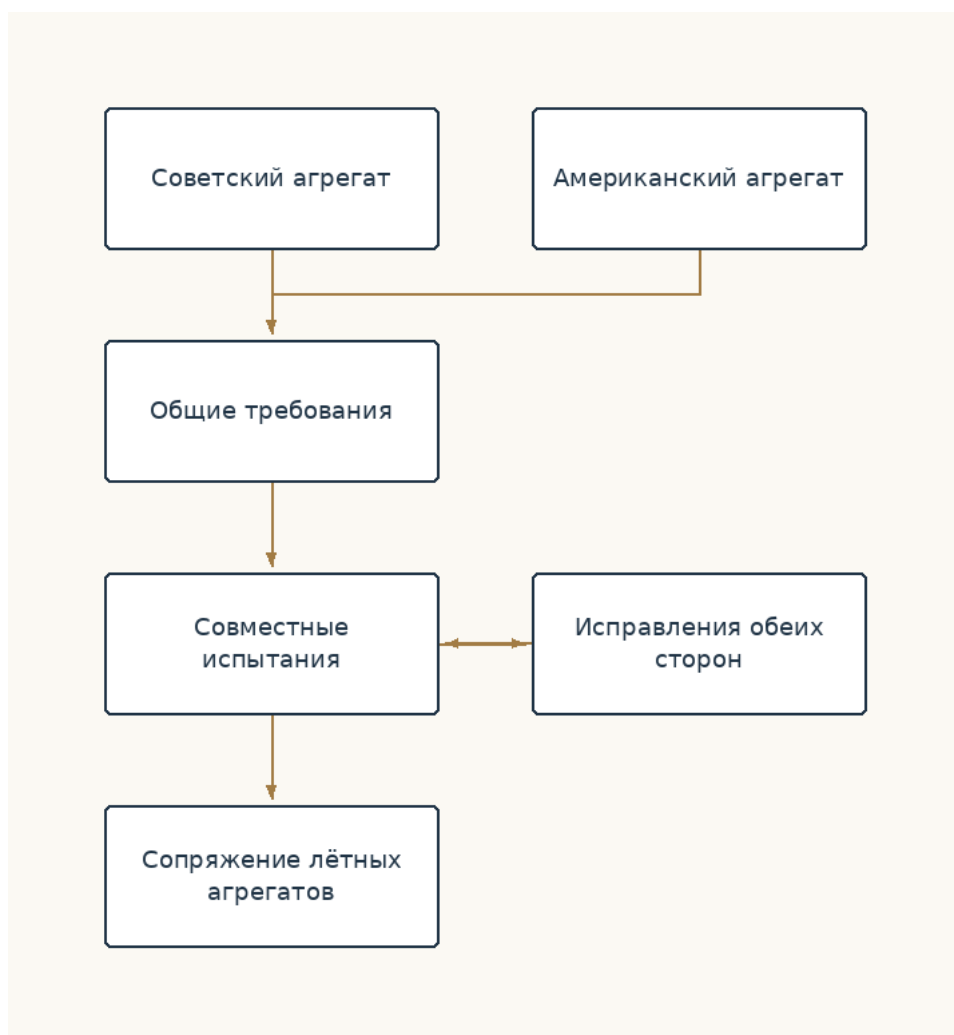
штабе две пятых натуральной величины. В калифорнийском Дауни испытывали уплотнения при смещениях, перепадах давления и крайних температурах. В Хьюстоне моделировали сближение и контакт с шестью степенями свободы.⁷

Перед полётом в Москве проверили сопряжение предназначенных для запуска агрегатов с основными и резервными агрегатами другой стороны. Испытания включали стыковку и расстыковку. Так совместимость подтверждали ещё на Земле — на конкретном оборудовании, которому предстояло встретиться в космосе.⁷

17 июля 1975 года «Союз» и «Аполлон» состыковались. Рукопожатие Леонова и Стаффорда стало видимым итогом нескольких лет согласования конструкций, испытаний, подготовки экипажей и работы наземных служб. Две страны сохранили собственные корабли и научно-производственные организации, сумев обеспечить их совместную работу.⁵

Лицензионный самолёт, проверка токамака и совместная стыковка показывают три разных результата международного обмена: освоение чужой технологии, признание собственного научного результата и создание совместимой системы. Во всех трёх случаях решающей была квалификация принимающей стороны. Инженеры превращали чертежи в производство, физики — измерения в новую программу исследований, создатели космических кораблей — соглашение в действующее соединение двух машин. Самостоятельность укреплялась там, где коллектив умел использовать полученное знание.

Схема. Совместимость двух кораблей



Общий интерфейс связывает устройства и программы разных разработчиков; совместимость проверяют при совместной работе.

Проверяли действительное взаимодействие двух систем.

System/360 и ЕС ЭВМ: чей стандарт

Другой американский прорыв совершила IBM. 7 апреля 1964 года компания представила System/360 — семейство машин с общей программно-совместимой архитектурой. Главным архитектором был Джин Амдал, руководителем проекта — Фредерик Брукс; среди ключевых участников —

Боб Эванс и Эрих Блох. Заказчик получал возможность переходить к более мощной модели, сохраняя вложения в программы. Совместимость превращалась в экономическое преимущество.⁷

По истории IBM, за первый месяц поступило более тысячи заказов на System/360. Компания предлагала масштабируемое семейство для науки, бизнеса и государственного управления. Вокруг него развивался выпуск совместимой периферии. Именно такой охват применения показывал промышленную силу вычислительной системы: сколько организаций могли использовать накопленные программы, расширять оборудование и получать обслуживание.⁷

ЕС ЭВМ строилась с ориентацией на уже созданную IBM архитектуру. Для советских разработчиков главным аргументом был доступ к совместимым программам и единому семейству машин. Разбор программного заимствования показывает и его цену: перенос, отладку, сопровождение и зависимость от внешнего направления развития.^{1, 2, 3}

Счёт по происхождению: архитектурная инициатива принадлежала IBM; ЕС ЭВМ последовала за ней. **Счёт по освоению:** изготовление совместимой машины требовало собственного производства и программной работы. Здесь были заимствование решения и труд по его воспроизведению — оба факта должны остаться в ответе.

Как это работало · Совместимость задаётся на границе

Два устройства могут быть устроены по-разному внутри и работать вместе, если согласованы правила их взаимодействия. Для программы это команды, представление данных и ожидаемое поведение; для стыковочного узла — геометрия, нагрузки, герметичность и последовательность операций.

Проверка одного устройства не заменяет проверки соединения. Каждая сторона может правильно выполнить собственный документ, а документы окажутся несовместимыми.

Поэтому разработчики согласуют общий интерфейс заранее и затем испытать на действующем оборудовании. Совместимость открывает обмен; она также связывает дальнейшее развитие решениями, принятыми на этой границе. Примеры ЕС ЭВМ и «Союза — Аполлона» относятся к разным видам техники, но позволяют увидеть этот общий инженерный вопрос.

Глава 23. М-13: машина есть, выпуска нет

1963–1992 · Москва — Днепропетровск — Жёлтые Воды — Загорск

Документация была. Заказчик был. Серийных машин не было. В 1981–1983 годах Днепровский машиностроительный и Южный радиозавод не развернули производство М-13 Михаила Карцева. Участник работ и его преемник Юрий Рогачёв оставил подробное описание этой задержки. Назначенный изготовитель ещё не стал действующим изготовителем.¹

М-13 предназначалась для управления сложными системами и обработки поступающих данных в реальном времени. Разработчики предусмотрели три базовые модели, общие модули и программную совместимость. В зависимости от исполнения машина получала один, два или четыре шкафа арифметических устройств; каждый шкаф содержал четыре процессора. Отдельные средства обеспечивали ввод-вывод, работу операционной системы и специализированную обработку сигналов. Создавалось семейство машин, которое можно было комплектовать под разные требования заказчика.²

Почему постановления было недостаточно

Та же инженерная школа прежде проходила путь к производству значительно прямее. Для М4-2М в начале 1963 года уже были подготовлены решения по элементной базе, конструкции и схемам. Завод получил полный комплект документации в том же году. При создании М-10 разработка началась в 1970-м, а в 1971-м изготовитель получил документацию и приступил к производству.³

Сопоставление этих эпизодов показывает значение конкретной производственной связи. Квалификация коллектива сохранялась, опыт накапливался. Но новую машину снова связывали с определённым заводом, оборудованием и

графиком — эту связь обеспечивали руководители заказа. Прежний успех не закреплял эту связь автоматически.

Первые изделия обходились дороже последующих: завод осваивал их производство. Постановление ЦК КПСС и Совета министров СССР № 695 от 12 июля 1979 года прямо предусматривало их возмещение. В министерствах предусматривалось создать единый фонд развития науки и техники, покрывающий исследования, разработку, освоение и повышенные расходы первых лет выпуска.⁴

Заказы и договоры должны были определять конечный результат, исполнителей, сроки всех этапов, материальные ресурсы и финансирование. Премирование связывалось с фактически полученным хозяйственным эффектом. Предусматривался постепенный переход к оплате законченной и принятой заказчиком работы. Для новой эффективной продукции вводились временные надбавки к оптовым ценам; до 70 процентов полученной дополнительной прибыли разрешалось направлять в фонды экономического стимулирования. Условия финансирования и стимулирования работ в оборонных отраслях при этом сохранялись отдельно.⁴

Постановление перечисляло одновременные задачи руководителей: оплатить освоение, закрепить ответственность, обеспечить ресурсы, заинтересовать изготовителя. Само постановление ещё не означало выполнения этих условий на каждом предприятии.

Вопрос — в продолжительности перехода от разработки к поставке.

У машины было несколько дат готовности

Готовность М-13 проходила несколько рубежей. Сначала существовал проект. Затем документация переходила изготовителям. Устройство полупроводниковой памяти прошло испытания по техническим условиям в феврале 1983 года. Первые две машины завод поставил в 1986-м. Комплекс из шести приняли для непрерывной эксплуатации в 1991-м.^{1,3}

Это разные результаты разных участников. Когда их сливают, возникает либо слишком ранняя победа, либо чрезмерно позднее начало. Документация подтверждает завершение определённой конструкторской работы. Поставка подтверждает производство. Государственные испытания комплекса показывают готовность к заданному использованию. История задержки лежит между этими событиями.

Фотооригиналы на стекле важнее для объяснения, чем общий упрёк бюрократии. Они указывают на недостающее средство изготовления плат. После передачи заказа Загорскому заводу их делали заново на собственной аппаратуре.¹ Изменился не только адрес в плане: появилась производственная возможность, которой прежде не обеспечили.

Что было бы при более ранней передаче заказа? Вероятно, изготовление могло начаться раньше, если у нового завода были свободные мощности и обеспеченные поставки. Но точную выигранную дату материалы, перечисленные в примечаниях этой главы, не устанавливают. Контрфактический вопрос выявляет зависимость, а не выдаёт нам второй, идеальный календарь проекта.

Судьба М-13 · производственный разрыв

Проект	Документация	Завод	Поставка	Приёмка
1979: включён в план НИИВК	1980–1982: передача комплектов и фотооригиналов	1983: решение о ЗЭМЗ; 1984: запуск освоения	1986: первые две машины	1991: комплекс на объекте

Это разные рубежи одного проекта.

Даты передачи документации, оборудования и заказа позволяют проследить задержку. Оценки коллег у Рогачёва остаются оценками участника конфликта. Сравнение с М-10 показывает, что прежняя разработка той же школы проходила путь к изготовителю быстрее.³

Как это работало · Четыре значения слова «готово»

Документация готова, когда позволяет изготовить изделие в заданной комплектации. Устройство готово к следующему этапу после предусмотренной проверки своих функций. Собранная машина требует проверки взаимодействия устройств. Комплекс на объекте должен выполнить назначенную задачу вместе с внешней аппаратурой.

Это не обязательно четыре одинаково устроенные процедуры для всех отраслей. Это четыре разных предмета утверждения о готовности. В истории М-13 переход между ними занимал годы. Если в отчёте назвать только последнюю дату, исчезнут ранние результаты разработчиков. Если первую выдать за окончание проекта, исчезнут изготовление, отладка и испытания. Календарь должен сохранять каждое достигнутое состояние.

1981-1991. Сохранить институт и найти завод

1981-1982. Фотооригиналы.

Задержка началась с конкретного производственного оборудования. Рисунок многослойных печатных плат переносили с фотооригиналов на стекле. На предприятиях объединения «Вымпел» не хватало электрокоординатографов, на которых изготавливали эти фотооригиналы. Работу переложили на разработчиков, хотя в НИИ вычислительных комплексов такого оборудования первоначально вообще не было. Один аппарат институт получил лишь к концу 1980 года.¹

Фотооригиналы передали опытному заводу НИИДАР в 1981-1982 годах. После изготовления элементов экспериментальной машины их отправляли на Южный радиозавод, где они оставались без практического использования. В феврале 1983 года устройство полупроводниковой памяти опытного образца прошло испытания по техническим условиям. Тем временем вопрос серийного изготовления оставался нерешённым.¹

«они пролежали практически без движения» — писал Рогачёв о фотооригиналах на Южном радиозаводе.¹

Это была остановка между разными видами готовности. Конструкторская документация позволяла изготавливать устройства. Опытное производство уже давало проверяемый результат. Но назначенные серийные предприятия не обеспечивали следующего шага. Для заказчика все эти промежуточные достижения ещё не складывались в работающий вычислительный комплекс.

23 апреля 1983 года. Без Карцева.

Карцев добивался передачи производства Загорскому электромеханическому заводу. 23 апреля он умер. Решения продолжал добиваться Рогачёв.¹

5 мая. Институт остаётся институтом.

Олег Лосев, заместитель министра радиопромышленности, обсуждал с руководством «Вымпела» положение НИИВК после смерти Карцева. Рогачёва пригласили на совещание. Перед участниками лежали два проекта: включить коллектив института в научно-технический центр объединения либо, наоборот, присоединить центр к НИИВК. По оценке Рогачёва, второй вариант сохранял вывеску, но отодвигал собственную тематику института.¹

«Я категорически отверг этот вариант», — вспоминал он о первом предложении. Разработчик М-13 мог потерять самостоятельность ещё до серийного выпуска машины.¹

Обсуждение прервал телефонный звонок министра Петра Плешакова. У него находился заместитель Николай Горшков, которому ранее передали проект перевода института в Восьмое главное управление. Министр вызвал Лосева; затем пригласили остальных. Когда Рогачёв вошёл, Горшкова в кабинете уже не было. Плешаков сообщил решение: Рогачёв назначается директором, институт сохраняет прежние статус и положение.¹

В тот день не приняли ни предложение разработчиков о переводе, ни варианты «Вымпела». Самостоятельность института сохранили. Серийного изготовителя этим решением ещё не обеспечили.

Рогачёв в этом сюжете продолжает работу после смерти Карцева. Он наследует задачу в незавершённом состоянии. Для научной школы это иной экзамен, чем создание очередной схемы: довести уже разработанную машину через переговоры и заводское освоение до пользователя. Преемнику предстояло принять и эту ответственность.

Октябрь. Решение об изготовителе.

К октябрю Рогачёв снова добился обсуждения — теперь на коллегии министерства. После спора она решила передать производство Загорскому электромеханическому заводу, а НИИВК — Восьмому главному управлению.¹

«Спасти положение может только ЗЭМЗ» — так Рогачёв формулировал выход из задержки.¹

В Загорске заново изготовили фотооригиналы на собственном оборудовании, чтобы обеспечить качество плат.¹

1984-1991. От плана к эксплуатации.

Заводской план на 1984 год предусматривал начало изготовления М-13 средней комплектации. В 1986 году предприятие поставило первые две машины. В 1991 году комплекс из шести М-13 прошёл государственные испытания и был принят для непрерывной круглосуточной эксплуатации. Рогачёв указывал, что всего до прекращения производства в 1992 году изготовили 18 комплектов.³

Майское решение сохранило институт; октябрьское определило изготовителя. Заводской план, первые поставки и приёмка комплекса появились в разные годы. Рогачёв довёл до выпуска замысел учителя. Сам Карцев первых двух машин уже не увидел.

Восемнадцать комплектов были изготовлены. Потерянные годы остались частью их истории.

Глава 24. После «Бурана»: что нельзя законсервировать

1980–2006 · Байконур — Протвино — научные центры России

Май 1989 года. Минимум для продолжения

Через полгода после автоматического полёта «Бурана» разработчики пришли на Совет обороны с вопросом о восстановлении «хотя бы минимального уровня финансирования». Губанов объяснил, ради чего: «теперь уже из стремления сохранения кооперации».^{1, 2}

Это была просьба оставить совместную работу тем, кто уже построил ракету и корабль. Разработчики представили направления дальнейшего использования «Энергии». Лётный результат был получен; продолжение зависело от нового решения о средствах.

Итог Губанов записал так: «Результаты были не в пользу “Энергии”».¹

Просили минимум для сохранения кооперации. Успешный полёт этого минимума не обеспечил.

От просьбы к консервации

Разработчики связывали возврат вложений с дальнейшим использованием ракеты и применением полученных технических решений в хозяйстве. Один коллектив создавал двигатель, другой — управление, третий — конструкцию, четвёртый — испытательные средства. Продолжение программы сохраняло бы совместную работу этой кооперации.

В 1991 году систему «Энергия — Буран» перевели из Программы вооружений в Государственную космическую программу решения народнохозяйственных задач. В 1992 году Российское космическое агентство решило прекратить работы и законсервировать созданный задел.³

Майское обращение и последующая консервация — разные события. Между ними изменились заказчик, финансирование и перспектива использования комплекса. Чертежи и изготовленные изделия оставались; способность снова соединить работу людей зависела от того, чем коллективы занимались в эти годы.

Тоннель без пучка

Протвино столкнулось с аналогичной проблемой ещё до получения главного экспериментального результата. Институт физики высоких энергий строил ускорительно-накопительный комплекс — УНК. Проект утвердили в 1980 году, строительство началось в 1983-м. В подземном тоннеле окружностью 21 километр предполагалось разместить три кольца: первое с обычными магнитами для разгона протонов до 600 ГэВ, два других — со сверхпроводящими магнитами, до 3 ТэВ каждое. Комплекс проектировали для опытов с неподвижной мишенью и встречными пучками.⁴

Физик Дмитрий Кочетков, представивший историю УНК на заседании Американского физического общества в 2017 году, связывал последующее сокращение проекта с резким падением финансирования. В 1993 году его ограничили ускорителем на 600 ГэВ с неподвижной мишенью. К 1995 году были завершены кольцевой тоннель и канал инжекции протонов. По приведённой Кочетковым оценке, изготовили 70 процентов магнитов и связанного ускорительного оборудования. В конце 1990-х годов недостаток федерального финансирования остановил проект.⁴

Вложения уже превратились в подземные сооружения и изготовленную аппаратуру. Но тоннель сам по себе не давал пучка, а комплект магнитов — результатов эксперимента. Остановка лишала страну не только новой установки: прекращалась работа, на которой следующее поколение специалистов могло освоить проектирование, монтаж, наладку и эксплуатацию ускорителя такого масштаба.

Общие последствия для науки отражены в официальной Стратегии развития науки и инноваций, утверждённой межведомственной комиссией 15 февраля 2006 года. Внутренние затраты на исследования и разработки в России за 2004 год составляли 196 миллиардов рублей — лишь 43 процента уровня 1990 года в постоянных ценах. Даже после начала экономического восстановления объём реальных расходов оставался меньше половины исходного.⁵

За 1990–2004 годы численность исследователей сократилась на 59,6 процента, техников — на 70,2 процента. Вспомогательный персонал уменьшился на 56,4 процента, хозяйственный — на 29 процентов. Сильнее всего сокращение затронуло техников и исследователей, непосредственно обеспечивавших научную работу. Эти показатели относятся к российской науке; здесь сравнивается её состояние в разные годы, без подмены исходной базы численностью всего СССР.⁵

Утрата техника могла означать потерю человека, который знал установку, умел находить неисправность и обеспечивал воспроизводимость измерений. Уход исследователя затрагивал тему, подготовку аспирантов, связи с разработчиками приборов. Сокращение штата уменьшало не только число исполнителей, но и количество задач, которые коллектив мог самостоятельно довести до результата.

Часть специалистов и предприятий продолжала работу через международные проекты. Созданный в 1992 году Международный научно-технический центр поддерживал переход бывших оборонных коллективов к мирным исследованиям. По данным CERN Courier, за 1992–1999 годы его программы профинансировали 830 проектов на 230 миллионов долларов; грантовые выплаты получили более 30 тысяч работников.⁶

За этими числами стояли конкретные заказы. Центр имени Хруничева и московский ЭНТЭК участвовали через ОИЯИ в создании криостата и вакуумных окон жидкокриптонового калориметра эксперимента NA48. Для торцевого

адронного калориметра ATLAS Институт физики высоких энергий работал совместно с НПО «Молния», ЦЕРН и Институтом Макса Планка в Мюнхене. Советские компетенции оставались востребованы в передовых экспериментальных установках.⁶

Такие заказы помогали сохранять людей, оборудование и профессиональную практику. Собственная программа давала дополнительную возможность: связать десятки коллективов общей долгосрочной задачей.

Сохранённый тоннель может так и не принять эксперимент. Самая дорогая пауза наступает, когда некому продолжить работу.

Цена паузы

Консервация сооружения и сохранение способности работать — разные расходы. Корпус можно закрыть, документацию сдать в архив, оборудование поставить на хранение. Коллектив тем временем должен чем-то заниматься. Если он расходится, будущему заказчику придётся восстанавливать распределение знаний между людьми.

Кто помнил особенности стенда? Кто умел отличить дефект прибора от ошибки подключения? Кто согласовывал изменение детали с изготовителем? Часть ответов находится в документах, часть — в опыте совместной работы. Длительная пауза увеличивает расстояние между ними. Поэтому возобновление программы не равно продолжению с последней строки старого графика.

Решение о продолжении требует оценки будущей задачи и полных расходов. Есть различие между обоснованным прекращением отдельного проекта и утратой способности выбирать следующий. Если вместе с заказом исчезает уникальный коллектив, закрытие затрагивает больше, чем один объект.

УНК особенно ясно показывает незавершённость результата. Тоннель и значительная часть аппаратуры уже суще-

ствовали, но полноценная экспериментальная программа не началась.⁴ Строительная готовность и научная отдача измеряют разные результаты. Некоторые объекты дают основной результат лишь после соединения всех предусмотренных частей.

Сокращение исследователей и техников в 1990–2004 годах относится к России, а не ко всему бывшему СССР.⁵ Территория сравнения в обеих точках остаётся одной и той же. Но и внутри правильной базы масштаб сокращения означает резкое уменьшение числа людей, которые могли проводить исследования и обслуживать установки.

Работа для международных экспериментов сохраняла часть практики. Она заслуживает признания именно за это. При этом выбор целой национальной программы и выполнение важного узла чужого международного проекта — разные возможности. Для будущего государства существенно обладать обеими.

Интермедия. Те, кто ушёл

1990-е · Черноголовка — Ноттингем — международная научная среда

Андрей Гейм в интервью Нобелевскому сайту объяснял свой поворот к работе за рубежом через оборудование. В 1990 году он получил возможность на полгода приехать в Ноттингем. По его оценке, доступная там экспериментальная база резко сокращала время исследований по сравнению с условиями, в которых он работал прежде. Он назвал свой выбор «сугубо профессиональным вопросом без возможности выбора» — перевод выражения *a very professional no choice question*.¹

Это слова самого Гейма о собственном решении. Их сила — в названной причине: исследователь сравнивает, какую работу может сделать за отпущенное время. Обобщать этот мотив на каждого уехавшего было бы ошибкой. Для истории научного коллектива важнее понять, что происходит с его задачами, когда конкретный сотрудник продолжает их в другой лаборатории.

Минус в отчётности — несколько разных событий

Сокращение числа исследователей на 59,6% и техников на 70,2% в России за 1990–2004 годы относится к категориям занятого персонала. Это не статистика эмиграции.² Люди могли уходить из науки в другую профессию, прекращать работу по возрасту, переезжать или оставаться вне учитываемой категории. Одна суммарная цифра не позволяет распределить их по этим траекториям.

Статистика здесь считает занятых исследователей и техников; интервью Гейма объясняет личное решение. Для подсчёта отъезда требуется другой ряд данных.^{1, 2}

Я не хочу подменять людей этой цифрой. Для института уход означает, например, что больше некому настроить конкретный прибор, вести определённый расчёт или обучать новому методу. Чтобы оценить такую потерю, нужен рас-

сказ о работе до и после ухода. Биография лауреата заметна; судьба техника, без которого перестала работать установка, может остаться только в памяти лаборатории. Отсутствие громкого имени делает эту потерю менее видимой, но не менее конкретной.

Что уезжает вместе с человеком

Статья может остаться в библиотеке, оборудование — в помещении, а следующий опыт состоится в другом месте. Исследователь переносит умение выбирать задачу, различать ошибку измерения и новый эффект, использовать помощь коллег. Часть этого опыта записана; другая передаётся в совместной работе.

Отъезд Гейма начался ещё в 1990 году. Поэтому его история не годится для простой формулы, будто все перемещения начались после распада СССР. Она позволяет поставить точный вопрос: в какой среде исследователь мог быстрее и полнее реализовать подготовку, полученную прежде? Сохранение науки требует ответа на этот вопрос внутри страны.

Рядом с историями ухода существовала работа тех, кто сохранял лаборатории и собирал новые поколения. Её результатом мог стать международный симпозиум, учебная программа, работающий прибор. Именно такой эпизод — продолжение школы Алфёрова в 1993 году — завершит основной рассказ.

Глава 25. Как стране вынесли технический приговор

1954–2017 · научные результаты и их последующая оценка

Спор об экономической статистике постепенно стал спором о самой способности страны создавать новое. Его важной вехой была «Лукавая цифра» Василия Селюнина и Григория Ханина — статья на страницах 181–201 февральского номера «Нового мира» за 1987 год. Авторы спрашивали, насколько рост стоимостных объёмов отражал реальное увеличение выпуска и какую роль играло скрытое повышение цен. Они оспаривали официальную картину хозяйственного развития.¹

«уровень статистики — важнейший показатель цивилизованности страны» — Григорий Ханин, 2017.¹

Через тридцать лет Ханин вернулся к этой истории в восьмом номере «Знамени» за 2017 год. Он объяснял, что альтернативные расчёты опирались на натуральные показатели производства, а динамику промышленности проверяли шестью методами. Ханин вспоминал широкий общественный отклик, обсуждение работ на конференции Гуверовского института в марте 1988 года и последовавшую критику со стороны ЦРУ. Это был спор о размерах и результатах экономического роста, в котором сталкивались разные расчёты.¹

Читая ретроспективу Ханина, я отделяю описание его методов от пересказа общественного отклика. Упоминание шести расчётных способов ещё не даёт читателю самих рядов данных. Поэтому я не переношу отсюда в книгу числовую переоценку всего советского роста; здесь важны предмет спора и тот момент, когда суждение о статистике превращалось в суждение о стране.¹

У такого спора было прямое управленческое значение. Завышенная оценка выпуска или основных фондов могла скрывать нехватку мощностей и ошибочность инвестиционных решений. Происхождение транзистора, конструкция

реактора и приоритет открытия устанавливаются по истории конкретной разработки. Для их оценки экономический пересчёт следовало дополнить техническими и историческими источниками.

Журнал *Foreign Affairs* в ноябре-декабре 1994 года напечатал статью Пола Кругмана «Миф об азиатском чуде». Советский опыт занимал в ней существенное место. Автор объяснял прежний быстрый рост мобилизацией труда, капитала и образовательных ресурсов. После учёта этих вложений прирост эффективности, согласно обсуждавшимся им оценкам, оказывался небольшим, а по некоторым расчётам — практически отсутствовал.²

Статья сопровождалась выразительной формулой: «Советское чудо: пот, а не вдохновение». В нескольких словах она превращала сложное экономическое рассуждение в запоминающийся образ. Однако сам Кругман отделял предсказанное замедление роста от последующего краха советской экономики: второго экономисты таким расчётом не предсказали.²

Здесь проходит граница между содержанием анализа и расширением его смысла. Низкая отдача совокупных затрат совместима с существованием оригинальных разработок. Она может сосуществовать с сильными исследовательскими школами, отдельными передовыми производствами и слабым распространением их результатов по хозяйству. Именно превращение оценки средней эффективности в характеристику всей научной системы создаёт образ страны, способной лишь наращивать расходы и воспроизводить чужие решения.

Что говорят документы об открытиях

Проверить такую характеристику можно по публикациям, где зафиксирован конкретный вклад. В 1954 году появились работы о мазерах двух независимо действовавших групп: Чарльза Таунса и его сотрудников в Колумбийском университете, Николая Басова и Александра Прохорова в Физическом институте имени Лебедева. Нобелевская премия 1964 года закрепила признание их фундаменталь-

ных результатов в квантовой электронике. Половину премии получил Таунс, другую половину разделили Басов и Прохоров.³

Здесь установлены предмет исследования, авторы и независимость работ. Эти сведения несовместимы с представлением, будто советская физика могла только заимствовать готовое. Одновременно сама история открытия показывает международный характер науки: несколько школ решали общую задачу и внесли самостоятельный вклад.

Британские специалисты в 1969 году приехали в Москву проверять результаты токамака Т-3. Совместная статья об измерении электронной температуры методом томсоновского рассеяния вышла в Nature 1 ноября 1969 года, в томе 224, на страницах 488–490. В истории британского Управления по атомной энергии прямо указано: проверка подтвердила результаты, после чего с начала 1970-х годов основная часть исследований Калэма сосредоточилась на токамаках. Советский эксперимент повлиял на выбор направления британской программы.^{4, 5}

Ещё один документ появился уже после распада СССР. Нобелевскую премию по физике 2000 года Жорес Алфёров и Герберт Крёмер получили за полупроводниковые гетероструктуры, применяемые в высокоскоростной электронике и оптоэлектронике; другую половину премии получил Джек Килби за вклад в создание интегральной схемы. Речь шла об основах информационной техники.⁶

Научное обоснование премии возвращало читателя к советским работам тридцатилетней давности. В нём отмечалось, что группа Алфёрова получила импульсную лазерную генерацию в двойной гетероструктуре в конце 1968 года, а в мае 1970-го представила сообщение о непрерывной генерации при комнатной температуре. Признание пришло в 2000 году, но сам результат принадлежал исследовательской работе советского периода.⁶

Сопоставление этих публикаций выявляет источник искажения: разные вопросы сводятся к одному приговору. Достоверность статистики, эффективность вложений, способность совершать открытия и способность массово вне-

дрят их результаты начинают выглядеть одной характеристикой. Между тем слабость одного звена не отменяет силы другого.

Потери 1990-х годов дополнительно затрудняют оценку: исчезнувшее производство легко принять за производство, которого никогда не существовало. Датированные статьи, результаты испытаний и история освоенных технологий возвращают последовательность событий. Они позволяют установить, что страна создала, где отставала и что утратила. Без этой последовательности объяснение хозяйственного кризиса превращается в стирание научной истории.

Когда верный довод превращают в неверный вывод

Аргумент Кругмана касается отдачи совокупных вложений. Открытия Басова, Прохорова или Алфёрова имеют другой предмет оценки. Ошибка появляется в следующем шаге — когда этот аргумент используют как универсальное объяснение всей советской техники.

Слабое распространение сильного результата — уже содержательная проблема. Она требует исследовать устройство промышленности, приоритеты заказчика, организацию освоения. Формула «не умели создавать» избавляет спорящего от этой работы, потому что заранее объявляет несуществующим предмет объяснения.

Мне представляется особенно важным не воспроизводить ту же ошибку в обратную сторону. Эффективность отдельного предприятия оценивают по его собственным показателям. Историческая защита страны становится убедительнее, когда её аргументы можно разделить и проверить. Там, где СССР первым получил результат, первенство должно быть названо прямо. Там, где отставал в массовом распространении, — установить предмет отставания.

Такая точность лишает полемику удобного общего счёта, но возвращает ей смысл. Сравнивать следует то, что люди сделали, смогли повторить и сумели передать дальше.

Глава 26. Сила, которую нужно воспроизводить

1957–1993 · Новосибирск — Москва — Загорск — Санкт-Петербург

Встреча, которую всё-таки организовали

Жорес Алфёров и Лео Есаки в 1993 году возглавили международный симпозиум по наноструктурам, физике и технологии. Институтский памятный материал выделяет его как начало ежегодных встреч российских и зарубежных исследователей. Советский Союз уже прекратил существование. Работа школы продолжалась: предстояло обсуждать новые результаты, сравнивать методы и вводить молодых специалистов в профессиональный разговор.⁷

За этой датой стоит определённое действие. Организаторы собирали участников, составляли программу и придавали встрече продолжение. Организатор сохранял для лаборатории место в мировой работе. Он отвечал не только за сделанное прежде, но и за возможность следующего результата.

Школу поддерживали институты. Когда в 1957 году создавали Сибирское отделение Академии наук, идеи дали руководителей и учреждения. Постановление Совета министров СССР № 564 от 18 мая было принято по инициативе Михаила Лаврентьева, Сергея Соболева и Сергея Христиановича. Постановление Президиума Академии наук № 448 от 7 июня учредило Институт гидродинамики; Лаврентьев возглавил его и отделение.¹ Содержание исследований и подбор исполнителей стали постоянной ответственностью научного руководителя.

Между учреждением института и его продолжением через десятилетия нет однажды законченного дела. Меняются темы, оборудование, сотрудники, связи с изготовителями и заказчиками. Чтобы институт оставался исследова-

тельским, он должен справляться с этими изменениями собственным трудом.

Три проверки силы

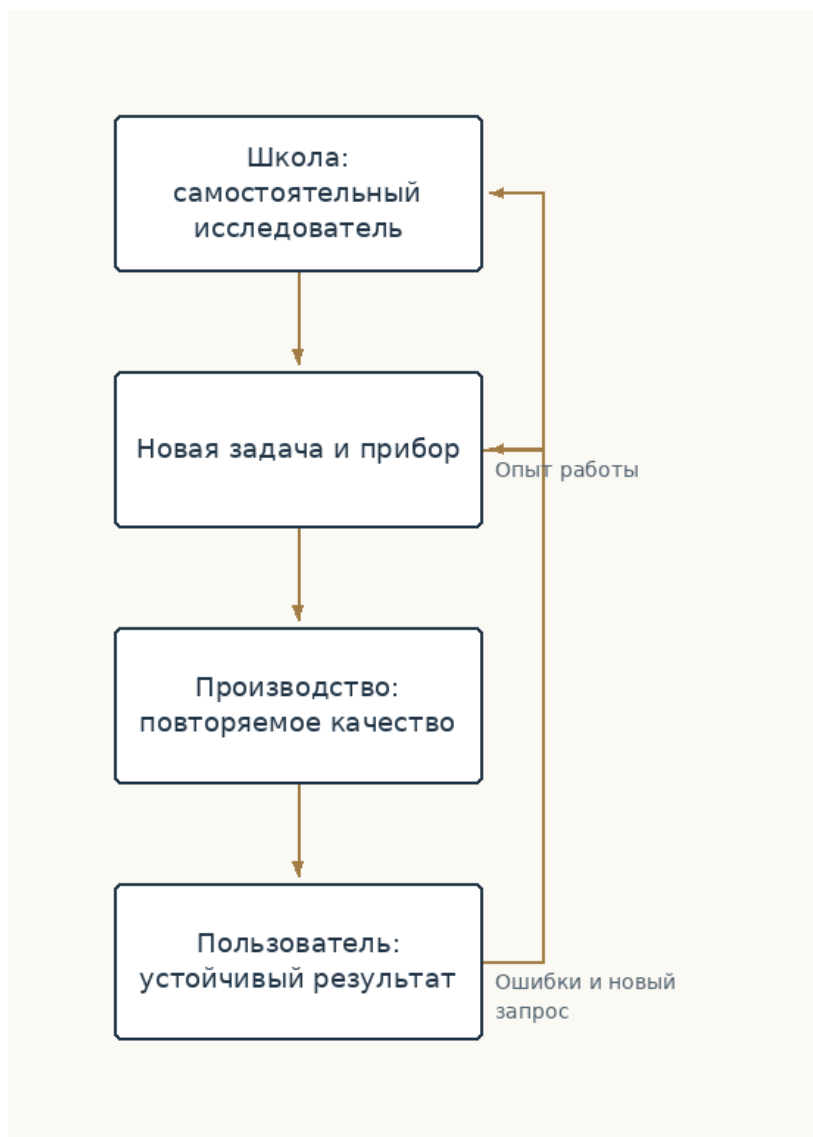
Первый вопрос: **может ли школа подготовить человека, который решит новую задачу самостоятельно?** Число дипломов здесь недостаточно. Его самостоятельность проявляется на семинаре, в эксперименте или расчёте, за который он отвечает сам. В исторических примерах эту связь поддерживали Физтех, физматшколы и действующие лаборатории.^{2, 3}

Второй вопрос: **может ли производство повторить результат с заданным качеством?** Опытный образец должен иметь изготовителя, проверку и продолжение в серии. По этой мере сварочная технология, освоенная разными бригадами, становится хозяйственным результатом; машина, оставшаяся в документации, ещё ждёт его.^{4, 6}

Третий вопрос: **может ли пользователь устойчиво получать результат и сообщать о его недостатках?** Для массовой вакцинации это требовало производства препарата и медицинской организации; для сложного изделия — эксплуатации, ремонта и передачи обнаруженных ошибок разработчику.⁵ Без обратной связи очередная серия рискует повторить прежнюю неисправность.

Я считаю эти три проверки более требовательными, чем перечень приоритетов. Они обращены к продолжению работы. Первый успех уже принадлежит истории; следующего сотрудника, следующую серию и исправление следующей ошибки ещё предстоит обеспечить. Именно на этом участке выясняется, стала ли сильная разработка устойчивой возможностью страны. Такой счёт позволяет признать достигнутое без скидок — и так же прямо назвать невыполненное.

Схема. Три проверки воспроизводства



Школа готовит исследователя, новая задача ведёт к производству; пользователь сообщает об ошибках, а опыт возвращается в обучение.

Авторская схема: подготовка человека, повторение изделия, устойчивое применение.

М-13: завершённая машина, потерянное время

Судьба М-13 · развязка

Проект	Документация	Завод	Поставка	Приёмка
1979: включён в план НИИВК	1980–1982: передача комплектов и фотооригиналов	1983: решение о ЗЭМЗ; 1984: запуск освоения	1986: первые две машины	1991: комплекс на объекте

Это разные рубежи одного проекта.

Рогачёв довёл последнее детище Карцева до производства после смерти его создателя. Изготовлено восемнадцать комплектов; комплекс прошёл государственные испытания. Эти результаты имеют своих исполнителей. Задержка между документацией и выпуском имеет свой механизм: первоначальная кооперация не обеспечила изготовление, понадобилось решение о другом заводе.⁶

Успех преемника отвечает на вопрос, могла ли школа продолжиться. Потерянные годы отвечают на вопрос, насколько своевременно государственная организация использовала её труд. Оба ответа обращены к тому, кто берётся строить следующую систему.

Научная держава начинается с человека, которому есть у кого учиться. Продолжается — там, где ему дают настоящую задачу, оборудование и время. Проверяется — результатом, доступным другим. Так создавалась сила моей страны. Такую силу необходимо воспроизводить.

Три проверки · итог части VI

Школа	Производство	Пользователь
Частично: школа про-должается, но теряет людей и задачи.	Частично: М-13 дошла до серии с задержкой, другие программы остановлены.	Частично: введенные комплексы служат, а незавершенные не дают предусмотренного эффекта.

Оценка относится к описанным случаям, а не к каждой отрасли СССР.

Эпилог. Кто поставит следующий опыт

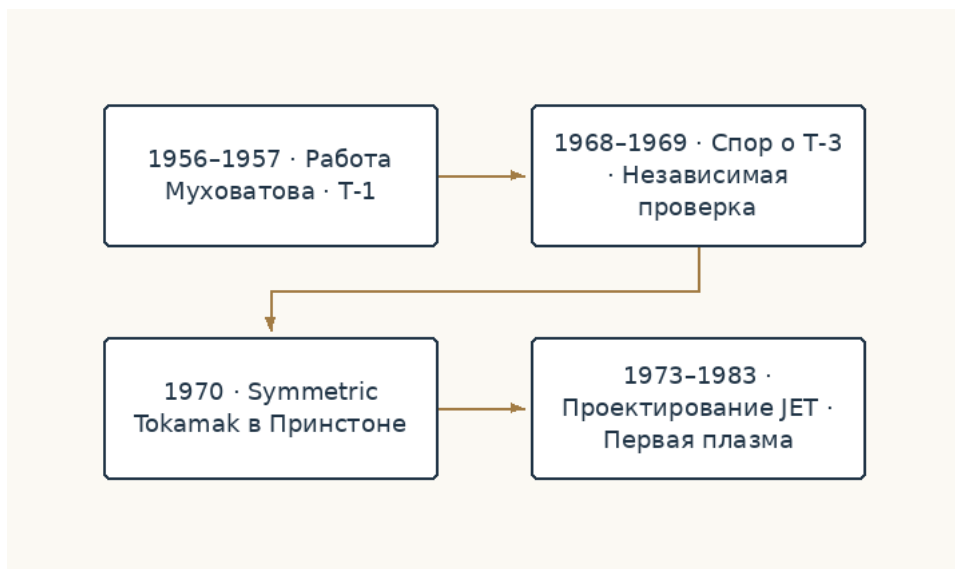
Следующая установка

25 июня 1983 года в Калэме получили первую плазму JET. Проектирование началось десятью годами раньше. Британское Управление по атомной энергии связывает предшествовавший поворот своей программы к токамакам с московскими измерениями 1969 года.² Теперь прежний спор получил продолжение в новой установке.

Для проверки 1969 года везли измерительную аппаратуру. Создатели JET строили уже большой эксперимент. Между этими действиями лежат расчёт, проект, изготовление, монтаж и подготовка людей. Научный результат обрёл будущее потому, что следующий коллектив принял его как задачу.

Дубненская история оставила три обозначения этой длительности труда: ИБР, ИБР-30, ИБР-2. Идея импульсного источника Блохинцева появилась в 1955 году; пуски первых двух установок состоялись 23 июня 1960-го и 10 июня 1969-го; официальная эксплуатация ИБР-2 началась в апреле 1984 года. В его создании участвовали НИКИЭТ, ГСПИ, ВНИИНМ и организации стран — участниц ОИЯИ.³ За каждой датой — новая разработка, изготовление и проверка; прежние чертежи сохраняли только часть необходимого опыта.

Схема. От опыта к следующей установке



Последовательность описанных токамачных установок и измерений показывает переход от ранних опытов к новым экспериментальным программам.

История описанных установок; схема не охватывает все термоядерные программы.

Наследство становится заданием

Публикация сохраняет результат. Коллектив сохраняет умение получить следующий. Между ними находится опыт, который передаётся при расчёте, наладке и споре о неудавшемся измерении. Его легче всего недооценить, пока рядом есть человек, умеющий исправить ошибку.

У будущего проекта поэтому должны быть определены не только стоимость и срок. Кто подготовит исполнителей? Кто изготовит прибор? Кто проверит его в составе целого? Кто будет пользоваться им и возвращать сведения о неисправностях? Для М-13 отсутствие своевременного производственного решения отняло годы.⁴ В новом проекте эти вопросы нужно решить раньше, чем они станут причиной остановки.

Научная работа требует и другого времени — времени признания. Между непрерывной лазерной генерацией при комнатной температуре в гетероструктуре, о которой группа Алфёрова сообщила в 1970 году, и Нобелевской премией 2000 года лежат тридцать лет.⁵ Исследовательская задача не обязана укладываться в календарь наград. Она обязана выдержать проверку.

Мне хочется, чтобы после этой книги знакомые имена связывались с работой, которую можно продолжать: научить, измерить, изготовить, проверить, исправить. В таком продолжении память о стране приобретает практический смысл.

Первая плазма — начало опыта. На следующем пуске предстоит узнать больше.

В Москве 1969 года ответ дали приборы. Ответ на вопрос о будущем дадут люди, которых мы успеем подготовить.

Приложение 1. Что именно сравнивать

Таблица сравнивает определённые результаты по отдельным основаниям. Приоритет открытия, характеристики изделия, масштаб производства и доступность для пользователя отвечают на разные вопросы. Формулировки опираются на источники указанных глав; каждая оценка сохраняет свой предмет.

Направление	Дата или период	Установленный результат	Граница вывода	Где проверять
Токамак Т-3	1969	Независимые лазерные измерения подтвердили высокую температуру электронов	Температура плазмы ещё не означает промышленную термоядерную энергетику	Пролог
Теория сверхтекучести	1941; Нобелевская премия 1962	Теория Ландау получила экспериментальную проверку и международное признание	Научный приоритет не измеряет эффективность всей экономики	Глава 1
Квантовая электроника	Нобелевская премия 1964	Работы Басова и Прохорова отмечены вместе с работами Таунса	Несколько исследовательских линий; приоритет нельзя присвоить одной стране целиком	Глава 2

Направление	Дата или период	Установленный результат	Граница вывода	Где проверить
Полупроводниковые гетероструктуры	1970; Нобелевская премия 2000	Важнейшие результаты школы Алфёрова; премия разделена с Крёмером и Килби	Награда за открытия и разработки не является рейтингом массовой микроэлектроники	Главы 2, 11
Первые ЭВМ	1951	МЭСМ стала действующей электронной вычислительной машиной	Это не мировой приоритет над всеми более ранними электронными машинами	Главы 3, 21
БЭСМ-6	1967–1987	Разработана и серийно выпускалась; изготовлено 355 машин	Отдельные архитектурные решения не доказывают превосходство по всем задачам над CDC 6600	Главы 3, 21–22
Искусственный спутник	1957	Первый спутник Земли	Приоритет запуска не равен преимуществу во всех видах космической техники	Глава 6

Направление	Дата или период	Установленный результат	Граница вывода	Где проверять
Полёт человека	1961	Первый полёт человека в космос	Сравнение следующих программ требует других критериев	Глава 6
Доставка грузов на станции	С 1978	«Прогресс» обеспечивал регулярное снабжение орбитальной работы	Здесь важны повторяемость и эксплуатация, а не только первая дата	Главы 7, 21
Атомная энергетика	1954	Обнинская АЭС начала отдавать электроэнергию в сеть	Формулировка о первой АЭС не означает первого вообще получения электричества от реактора	Главы 8, 21
Быстрые реакторы	БН-600: 1980	Промышленная эксплуатация реактора на быстрых нейтронах	Наличие установки не снимает вопросов о топливном цикле и экономике	Глава 8
Автоматическая сварка	1940-е–1950-е	Освоена в танкостроении и крупном гражданском сооружении — мосте Патона	Приоритет отдельного процесса следует отделять от широты его применения	Глава 9

Направление	Дата или период	Установленный результат	Граница вывода	Где проверить
Микроэлектроника	1960-е–1980-е	Созданы институты, предприятия, собственные изделия и производственные процессы	Существование отрасли не доказывает отсутствия технологического отставания	Главы 11, 22
Программная совместимость	ЕС ЭВМ: с конца 1960-х	Выбрана совместимость с архитектурой IBM System/360; использовалось внешнее программное наследство	Совместимость, заимствование программ и изготовление собственной машины — разные действия	Интермедия об ЕС ЭВМ
Полиомиелит	1959–1960	Массовое применение живой вакцины; свыше 77 млн привитых в 1960 году	Международный вклад в вакцину и национальная организация кампании различаются	Глава 19
Бытовые холодильники и морозильники	1960–1988	Обеспеченность выросла с 4 до 92 приборов на 100 семей	Это число приборов, не доля семей; качество и сельская доступность требуют отдельной оценки	Глава 18

Направление	Дата или период	Установленный результат	Граница вывода	Где проверять
М-13	1970-е–1986	Разработка прошла путь к первым машинам с длительной производственной задержкой	Готовность конструкции не обеспечила своевременного выпуска	Глава 23
«Буран» и УНК	Конец 1980-х–1990-е	Созданная техника и незавершённая инфраструктура не получили первоначально предполагавшегося продолжения	Сам факт утраты не доказывает экономическую целесообразность любой исходной программы	Глава 24

Сравнивая страны, сначала договоримся о предмете: дата первого опыта, достигнутая характеристика, число работающих установок, стоимость эксплуатации или доступ человека к результату. Внутри одной строки ответы могут различаться.

Три проверки x шесть частей

Это карта описанных случаев, а не рейтинг эпохи. «Есть» означает показанный механизм, «частично» — конкретный разрыв или неполноту. Отметка «нет» требует установленного отсутствия; недостаток сведений сам по себе её не даёт.

Часть	Школа: кто продолжает	Производство: кто повторяет	Пользователь: что получает
I. Школа и открытие	Есть: теорминимум и институт передают способ работы (гл. 1).	Есть: приборы и вычислители выходят за пределы первого образца; дальнейший масштаб выпуска рассматривается отдельно (гл. 2, гл. 3).	Есть исследовательское применение; повседневная доступность ещё не предмет этих случаев.
II. Право на полёт	Есть: конструкторы и испытатели накапливают опыт (гл. 5).	Есть: двигатели, корабли и грузовое снабжение повторяются (гл. 4, гл. 7).	Есть работа экипажа и обратная связь; аварии показывают пределы защиты (гл. 5, гл. 7).
III. Завод за открытием	Есть: исследование соединено с подготовкой исполнителя (гл. 9, гл. 11).	Есть: освоены отраслевые производства (гл. 8-гл. 11).	Частично: изделия служат пользователю, но Чернобыль обнаруживает разрыв в передаче знания об опасности (интермедия).
IV. Машина и решение	Есть: программисты и постановщики задач работают совместно (гл. 12, гл. 13).	Частично: локальные системы работают; ОГАС остаётся нереализованной в замысленном масштабе (гл. 14).	Частично: завод получает расчёт; межведомственные полномочия остаются препятствием (гл. 13-гл. 15).

Часть	Школа: кто продолжает	Производство: кто повторяет	Пользователь: что получает
V. Для исследователя и человека	Есть: лаборатории, вузы и школы готовят смену (гл. 17, гл. 20).	Есть: материалы, самолёты и вакцина доведены до повторяемого применения (гл. 16, гл. 18, гл. 19).	Есть конкретные услуги и исследования; средний выпуск не описывает доступ каждого человека (гл. 18, гл. 19).
VI. Преимущество, разрыв, наследство	Частично: школы продолжают, но теряют людей и задачи (гл. 24, гл. 26).	Частично: М-13 доходит до серии с задержкой; другие программы останавливаются (гл. 23, гл. 24).	Частично: введённый комплекс работает; незавершённая установка не даёт предусмотренного эксперимента (гл. 23, гл. 24).

Приложение 2. География совместной работы

Исторические названия соответствуют описываемому времени. Это указатель к книге, а не полный перечень предприятий СССР.

Место	Работа, показанная в книге	Главы
Москва	Институт физических проблем, атомный проект, вычислительная техника, организация отраслей	1, 3, 8, 14-15
Ленинград	Физико-техническая школа, гетероструктуры, точное приборостроение, корабельные материалы	1-2, 10, 16
Харьков	Работа Ландау, научная школа и приборы	1, 10
Киев	МЭСМ, Институт кибернетики, сварка Патона	3, 9, 13-14
Новосибирск	Академгородок, программирование, физматшкола, конференция 1968 года	Пролог, 12, 20
Долгопрудный	Физтех и подготовка исследователей	20
Обнинск	Первая АЭС и экспериментальная ядерная техника	8, 17
Дубна	Нейтронные исследования и вычисления	3, 12, 17
Зеленоград	Микроэлектроника, связь института и производства	11

Место	Работа, показанная в книге	Главы
Химки, Куйбышев, Воронеж	Двигатели и производственная кооперация	4
Загорск, Байконур, Жуковский	Проверка, запуск, испытания космической техники	5–6
Нижний Тагил, Днепропетровск	Производственное применение сварки	9
Верхняя Салда, Северодвинск	Титан и изготовление корабля	16
Львов, Казань, Набережные Челны	Управление предприятием, вычислительные центры	13
Калэм	Независимая диагностика Т-3 и продолжение токамачных исследований	Пролог, эпилог

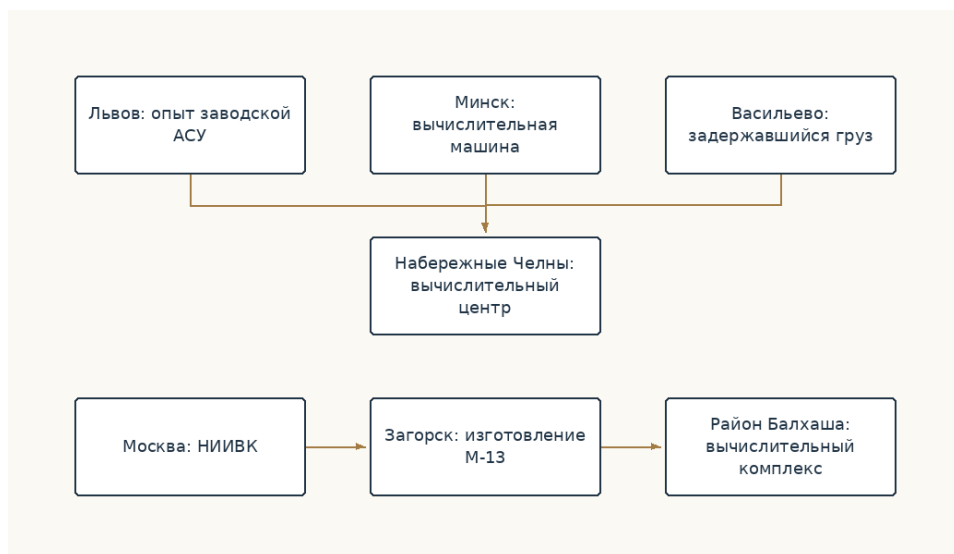
Несколько дат для ориентации

Год	Событие	Читательский ориентир
1918	Создание института Иоффе	Научная школа
1934	Теоретический минимум Ландау; возвращение Капицы в СССР	Отбор и организация исследований
1938–1939	Арест и освобождение Ландау	Возможность работать зависит от государственного решения
1948	Сессия ВАСХНИЛ и изменения в университетской биологии	Вмешательство в научный спор
1951	МЭСМ	Собственная вычислительная техника

Год	Событие	Читательский ориентир
1953–1954	Мост Патона; Обнинская АЭС	Результат входит в сооружение и энергосистему
1957–1961	Спутник; первый полёт человека	Согласованная работа предприятий
1959–1960	Массовая вакцинация против полиомиелита	Международное знание и массовая организация
1962–1963	Зеленоград; физмат-школы	Вложение в производство и следующую смену
1969	Проверка Т-3; закрепление ориентации ЕС ЭВМ на IBM System/360	Два разных способа международного взаимодействия
1978–1980	«Прогресс-1»; БН-600	Продолжительная эксплуатация
1983–1985	Первая плазма JET; ремонт «Салюта-7»	Продолжение опыта и восстановление работы
1986–1988	Первые М-13; полёт «Бурана»	Готовность техники и вопрос о продолжении
1990-е	Сокращения и остановки программ	Что теряется вместе с коллективом
2000	Нобелевская премия Алфёрову	Позднее признание работ предыдущих десятилетий

Даты не образуют автоматической лестницы прогресса. В одни и те же годы могли расширяться одни направления и закрываться другие.

Схема. География двух коопераций



Львов, Минск и Васильево связаны с вычислительным центром КамАЗа; Москва, Загорск и район Балхаша — с разработкой, выпуском и эксплуатацией М-13.

Схематическая карта связей по главам 13 и 23. Масштаб и взаимное положение городов не передаются.

Приложение 3. Дальнейшее чтение и вопросы

Часть I

- Лифшиц о Ландау: учитель, теория и школа.
- Источники главы о гетероструктурах.
- Рогачёв о начале отечественных вычислений.

Проверьте довод книги:

1. Что подтверждает эффективность научной школы помимо числа её известных выпускников?
2. Почему действующая ЭВМ и серийная вычислительная отрасль требуют разных доказательств?

Часть II

- Воспоминания испытателя: ошибка обнаруживается в сборке.
- История грузового снабжения орбитальных станций.
- Савиных: «Записки с мёртвой станции».

Проверьте довод книги:

1. Что изменяет второй стыковочный узел в организации полёта?
2. Какие проверки нельзя заменить испытанием одного исправного агрегата?

Часть III

- Обнинская АЭС: начало эксплуатации.
- Патон и производственное применение сварки.
- Создание микроэлектронной отрасли.

Проверьте довод книги:

1. Почему выпуск опытного образца не отвечает на вопрос о стоимости серии?
2. Какая работа становится невидимой, если считать достижением только открытие?

Часть IV

- Программирование и эксплуатация вычислительной машины.
- Глушков об общегосударственном управлении.
- Кузнецов и организация сложных работ.

Проверьте довод книги:

1. Какие полномочия потребовались бы ОГАС помимо вычислительной мощности?
2. Почему сокращение длительности одной работы может не ускорить весь проект?

Часть V

- История титана и корабельного материала.
- Материалы о массовой вакцинации.
- История подготовки исследователей.

Проверьте довод книги:

1. Чем число приборов на 100 семей отличается от доли семей, имеющих прибор?
2. Где в истории массовой вакцинации заканчивается задача лаборатории и начинается задача организатора?

Часть VI

- БЭСМ-6: техническое описание и история.
- Рогачёв: история задержки М-13.
- Стратегия развития науки: положение в научной сфере.

Проверьте довод книги:

1. Какие показатели нужны, чтобы сравнение двух технических систем было честным?
2. Что можно восстановить по чертежам и чего одних чертежей недостаточно восстановить?

Если вы ищете свой путь в исследовательскую работу

Истории Ландау, Физтеха и физматшкол не дают готового маршрута для каждого человека. Но в них можно различить несколько практических условий: трудная задача, возможность получить разбор своей ошибки, доступ к работающему специалисту и постепенное участие в настоящем исследовании.

Выбирая кружок, школу, университетскую лабораторию или практику, полезно спросить: какую задачу я смогу решить сам; кто обсудит со мной результат; какое оборудование и данные доступны; могу ли я повторить измерение или расчёт? Олимпиада проверяет некоторые способности, но не исчерпывает исследовательскую работу. В ней исследователю помогают терпение, аккуратная запись и умение доводить совместную задачу до результата.

Правила приёма, стоимость и доступность конкретных программ меняются. Их актуальные условия следует уточнять у организаторов. Книга помогает сформулировать главный вопрос к выбранной среде: чему здесь можно научиться, делая работу вместе с теми, кто уже умеет её делать?

Приложение 4. Открытые вопросы

Разведка и атомный проект. Использование внешних сведений и собственная работа установимы по документам. Их доли нельзя добросовестно выразить одним процентом: сведения, решение, расчёт, производство и испытание не являются взаимозаменяемыми единицами. В книге не вычисляется «доля своей бомбы».

ЕС ЭВМ. Мотив совместимости и конкретные формы программного заимствования можно восстановить. Доказать, что иной выбор обеспечил бы лучший итог всей отрасли, гораздо труднее: для него нужны сопоставимые оценки сроков, затрат, программной базы и спроса. Участники описывают решение с разных позиций; воспоминание не превращается от этого в нейтральный сводный баланс.

ОГАС и М-13. История задержки не содержит готовой истории успешной альтернативы. Вопрос «что, если бы решение приняли раньше?» полезен, когда названы необходимые изготовитель, ресурсы и полномочия. Без них он остаётся пожеланием.

Расходы и выбор приоритетов. По приведённым примерам нельзя вывести полную цену научно-технической политики или точный размер её влияния на потребление. В частности, здесь нет расчёта, который позволял бы приписать конкретную остановку программы военным расходам в Афганистане. Такой вывод требует отдельного бюджетного и отраслевого исследования.

Повседневная доступность. Средний показатель обеспеченности не описывает каждое хозяйство, регион, очередь и качество обслуживания. История холодильников показывает один из результатов для человека; полная история потребления требует отдельного исследования.

Эти границы не отменяют установленных результатов. Они обозначают, какого дополнительного свидетельства не хватает для более широкого вывода.

Баланс обороны и гражданского сектора — открытый вопрос. В этой редакции не установлен сопоставимый ряд долей оборонных НИОКР во всех НИОКР СССР и военной продукции в промышленном выпуске за единый период. Это разные знаменатели. Для сравнения опубликованных оценок нужны полные тексты, год, состав расходов, система цен и методика расчёта. Истории передачи технологий в интермедии дают отдельные случаи, но не общий баланс. Причинная связь военных расходов в Афганистане с конкретными гражданскими ассигнованиями также остаётся неустановленной.

Приложение 5. Кто есть кто

Читательский ориентир: роль человека и действие, с которым стоит связать его имя. Формулировки относятся к эпизодам книги; совместная работа сохраняет коллективное авторство. Источники — в примечаниях указанных глав.

Абрикосов Алексей. Физик-теоретик; участник сохранения школы Ландау. Участвовал в сохранении школы Ландау. гл. 1

Александриди Тамара. Участница создания М-1. Создавала М-1 в лаборатории Брука. гл. 3

Аллен Джон. Исследователь течения жидкого гелия в Кембридже. Исследовал течение жидкого гелия. гл. 1

Алфёров Жорес. Физик полупроводников; гетероструктуры и продолжение научной школы. Довёл гетероструктуры до работающего лазера. гл. 2, гл. 26

Амдал Джин. Разработчик архитектуры IBM System/360. Разрабатывал общую архитектуру семейства компьютеров. гл. 22

Андреев Вячеслав. Участник исследований полупроводниковых гетероструктур. Работал над полупроводниковыми гетероструктурами. гл. 2

Арцимович Лев. Руководитель исследований плазмы; проверка токамака Т-3. Предложил британцам проверить результат Т-3. пролог

Афанасьев Виктор. Один из авторов характеристики научных работ Побиска Кузнецова. Подписал характеристику работ Кузнецова. гл. 15

Бармин Владимир. Разработчик наземного стартового оборудования. Создавал наземное оборудование для старта. гл. 6

Басов Николай. Физик; молекулярные генераторы и полупроводниковые лазеры. Связывал исследования генераторов с новой техникой. гл. 2

Белоцерковский Олег. Выпускник и ректор МФТИ. Вернулся к подготовке физиков уже ректором. гл. 20

Беляков Виктор Игоревич. Соавтор работы о системах СПУТНИК. Описывал организацию связанных работ в СПУТНИК. гл. 15

Берестов Леонид. Лётчик-испытатель программы «Буран». Участвовал в отработке авиационной части программы «Буран». гл. 5

Благовещенский Юрий. Участник создания вычислительной техники киевской школы. Участвовал в создании киевской вычислительной техники. гл. 3

Блохинцев Дмитрий. Физик; идея импульсного нейтронного источника в Дубне. Предложил заставить пульсировать сам источник нейтронов. гл. 17

Богомолов Александр. Разработчик радиотехнических средств космического комплекса. Создавал радиотехнические средства космического комплекса. гл. 6

Бор Нильс. Физик; учитель Ландау. Был учителем Ландау. гл. 1

Бранд Вэнс. Участник американского экипажа «Союз — Аполлон». Участвовал в совместном полёте двух космических программ. гл. 22

Брук Исаак. Руководитель лаборатории, создавшей М-1. Руководил лабораторией, построившей М-1. гл. 3

Бушуев Константин. Советский технический руководитель программы «Союз — Аполлон». Согласовывал техническую сторону совместного полёта. гл. 22

Валиев Камиль. Организатор исследований микроэлектроники. Организовывал исследования микроэлектроники. гл. 11

Валлер Ивар. Физик; представлял научные заслуги Ландау при присуждении Нобелевской премии. Объяснял научное значение работ Ландау. гл. 1

Валов Юрий. Испытатель; свидетель огневых испытаний. Описал отказ, вызванный несогласованной схемой стенда. гл. 5

Васенков Александр. Специалист микроэлектроники; свидетель освоения серий микросхем. Свидетельствовал, что производственный процесс приходилось осваивать самим. гл. 11

Велихов Евгений. Физик; возглавил факультет проблем физики и энергетики МФТИ. Возглавил новый факультет МФТИ. гл. 20

Ветцо М. Б.. Обеспечивала связи ЛаСУРс с заказчиками. Связывала ЛаСУРс с заказчиками. гл. 15

Винер Норберт. Математик; один из основателей кибернетики. Разрабатывал общий язык управления и информации. гл. 3

Волк Игорь. Лётчик-испытатель программы «Буран». Проверял полноразмерный аналог будущего орбитального корабля. гл. 5

Волошкевич Георгий. Участник развития сварочных технологий. Развивал технологию сварки. гл. 9

Ворошилова Марина. Вирусолог; разработка и изучение живой полиомиелитной вакцины. Исследовала живую вакцину и её действие. гл. 19

Воскресенский Леонид. Организатор ракетных испытаний. Настаивал на полномасштабной огневой проверке Н-1. гл. 5

Вул Бенцион. Физик полупроводников; работы по лазерам. Работал над полупроводниковыми лазерами. гл. 2

Гагарин Юрий. Первый космонавт; полёт «Востока». Выполнил первый полёт человека в космос. гл. 6

Гарбузов Василий. Министр финансов; участник спора о проекте ОГАС. Возражал против организационного предложения Глушкова. гл. 14

Гейм Андрей. Физик; свидетель выбора условий исследования за рубежом. Объяснял свой выбор условий научной работы. интермедия

Глушко Валентин. Главный конструктор жидкостных ракетных двигателей. Создавал двигатели, которые предстояло соединить в ракету. гл. 4

Глушков Виктор. Кибернетик; вычислительные машины, АСУ и проект ОГАС. Предлагал связать вычислительные центры и полномочия управления. гл. 3, гл. 13, гл. 14

Говорун Николай. Руководитель программных работ и вычислительного взаимодействия в ОИЯИ. Организовывал программы и вычислительное взаимодействие в ОИЯИ. гл. 3,

Гольдфайн Виталий. Специалист по титановым сплавам, соавтор книги для машиностроителей. Обобщал знания о титановых сплавах для машиностроения. гл. 16

Гордон Джеймс. Участник создания молекулярного генератора в Колумбийском университете. Создавал молекулярный генератор. гл. 2

Горшков Николай. Заместитель министра; участник решения о судьбе НИИВК. Участвовал в обсуждении перевода НИИВК. гл. 23

Горынин Игорь. Материаловед; исследования титановых сплавов. Исследовал свойства титановых сплавов. гл. 16

Горьков Лев. Физик-теоретик; один из инициаторов сохранения школы Ландау. Участвовал в сохранении школы Ландау. гл. 1

Готлиб Мелвин. Руководитель Принстонской лаборатории; участник спора о Т-3. Поставил под сомнение смысл измеренной температуры. пролог

Гречко Георгий. Космонавт; длительные экспедиции орбитальных станций. Работал на станции, получившей первый «Прогресс». гл. 7

Губанов Борис. Руководитель разработки «Энергии»; свидетель судьбы кооперации. Добивался продолжения работы космической кооперации. гл. 5, гл. 24

Гусев Леонид. Разработчик радиотехнических систем. Создавал радиотехнические системы. гл. 6

Гутман Лия. Специалист сварки; обучала заводских рабочих новой технологии. Обучала заводских рабочих новой сварке. гл. 9

Дашевский Лев. Участник разработки МЭСМ. Участвовал в разработке МЭСМ. гл. 3

Джанибеков Владимир. Командир экспедиции, восстановившей «Салют-7». Командовал экспедицией к обесточенной станции. гл. 7

Дзялошинский Игорь. Физик-теоретик; участник сохранения школы Ландау. Участвовал в сохранении школы Ландау. гл. 1

Дмитриев С. И.. Свидетель истории создания и развития Ил-18. Сохранил свидетельство о создании Ил-18. гл. 18

Дородницын Анатолий. Математик, учитель Белоцерковского. Подготовил будущего ректора Белоцерковского. гл. 20

Ершов Андрей. Программист; алгоритмы трансляции и система АЛЬФА. Разрабатывал способы перевода алгоритма в программу.

Жакино Жан. Участник термоядерных исследований; свидетель спора о Т-3. Сохранил рассказ о споре вокруг Т-3. пролог

Жимерин Дмитрий. Организатор работ по автоматизации управления. Описал программу автоматизации и её технические препятствия. гл. 14

Зельдинова Светлана. Разработчица программного обеспечения коммутатора машин ДИСПАК. Разрабатывала программы коммутатора машин ДИСПАК.

Зуев Виталий. Участник программных работ по ДИСПАК. Участвовал в программных работах по ДИСПАК.

Ильюшин Сергей. Главный конструктор пассажирского самолёта Ил-18. Проектировал самолёт для массовых пассажирских перевозок. гл. 18

Иоффе Абрам. Создатель физико-технической школы и организатор институтов. Создавал институт и готовил самостоятельных исследователей. гл. 1

Исаев Алексей. Конструктор тормозной двигательной установки «Востока». Создавал двигатель для торможения «Востока». гл. 6

Исаев В. П.. Свидетель развития автоматизированной системы КамАЗа. Объяснял роль единых классификаторов и ответственности человека в АСУ. гл. 13

Казаринов Рудольф. Физик; соавтор предложения лазера на двойной гетероструктуре. Предложил вместе с Алфёровым лазер на двойной гетероструктуре. гл. 2

Капица Пётр. Физик; низкие температуры, кислородные установки, защита Ландау. Добивался возвращения Ландау к научной работе. гл. 1

Капырин Георгий. Материаловед; создание материалов для судостроения. Создавал материалы для судостроения. гл. 16

Карцев Михаил. Главный конструктор М-10 и М-13. Руководил разработкой М-13, но не увидел первых серийных машин. гл. 23

Касьянов Владимир. Участник развития трансляторов и программных систем. Развивал трансляторы и программные системы.

Кизим Леонид. Космонавт; межстанционная экспедиция. Переносил вместе с экипажем опыт и аппаратуру между станциями. гл. 7

Никоин Исаак. Физик; атомные технологии и подготовка школьников. Создавал пути подготовки школьников к науке. гл. 20

Килби Джек. Нобелевский лауреат за вклад в создание интегральной схемы. Получил признание за вклад в интегральную схему. гл. 2, гл. 25

Китов Анатолий. Кибернетик; соавтор статьи 1955 года. Защищал содержание кибернетики в статье 1955 года. гл. 3

Кожухин Геннадий. Координатор части транслятора АЛЬФА. Координировал работу над частью транслятора АЛЬФА.

Комаров Владимир. Космонавт; погиб при возвращении «Союза-1». Погиб при возвращении «Союза-1». гл. 5

Кондратов Владимир. Инженер-испытатель; поиск неисправности ракеты. Описал найденный недотянутый винт в разъёме Р-7. гл. 5

Королёв Лев. Разработчик вычислительной техники; заместитель главного конструктора БЭСМ-6. Разрабатывал БЭСМ-6 вместе с коллективом Лебедева. гл. 3

Королёв Сергей. Главный конструктор ракетно-космической техники. Объединял работы над ракетой и кораблём. гл. 4, гл. 6

Косыгин Алексей. Глава правительства; участник решений об институтах и ОГАС. Принял Глушкова для обсуждения автоматизации хозяйства. гл. 14

Кошкина Людмила. Участница разработки ДИСПАК. Участвовала в разработке ДИСПАК.

Крёмер Герберт. Физик; независимо предложил двойную гетероструктуру. Независимо предложил двойную гетероструктуру. гл. 2

Кубасов Валерий. Космонавт, участник программы «Союз — Аполлон». Летел на советском корабле совместной экспедиции. гл. 22

Кузнецов Побиск. Разработчик систем организации сложных программ. Делал зависимости тысяч работ обозримыми. гл. 15

Курчатов Игорь. Научный руководитель советского атомного проекта. Руководил научной работой атомного проекта. интермедия

Лаврентьев Михаил. Организатор Сибирского отделения и научного образования. Создавал научную среду и путь школьника в неё. гл. 20, гл. 26

Ландау Лев. Физик-теоретик; научная школа, теорминимум, теория сверхтекучести. Готовил ученика самостоятельно решать физическую задачу. гл. 1

Ланни Глинн. Американский технический руководитель программы «Союз — Аполлон». Согласовывал американскую техническую часть совместного полёта. гл. 22

Лебедев Сергей. Создатель МЭСМ и руководитель разработки БЭСМ. Довёл МЭСМ до действующей машины и продолжил линию БЭСМ. гл. 3

Левченко Анатолий. Лётчик-испытатель программы «Буран». Пилотировал аналог «Бурана» при отработке посадки. гл. 5

Лейпунский Александр. Физик; развитие реакторов на быстрых нейтронах. Развивал направление быстрых реакторов. гл. 8

Леонов Алексей. Командир советского экипажа «Союз — Аполлон». Командовал советским экипажем «Союз — Аполлон». гл. 22

Летичевский Алексей. Участник развития языков и вычислительных систем киевской школы. Развивал языки и вычислительные системы киевской школы. гл. 3

Линник Владимир. Физик-оптик; измерительная техника. Создавал средства точного оптического измерения. гл. 10

Лисунов Борис. Инженер; освоение DC-3 советской промышленностью. Осваивал производство самолёта по полученной технологии. гл. 22

Лифшиц Евгений. Физик, соавтор «Курса теоретической физики», свидетель школы Ландау. Передавал школу Ландау через курс и свидетельство о её работе. гл. 1

Лозино-Лозинский Глеб. Руководитель разработки орбитального корабля «Буран». Руководил созданием орбитального корабля. гл. 5

Лосев Олег. Заместитель министра радиопромышленности; участник совещания 5 мая 1983 года. Обсуждал два варианта переустройства НИИВК. гл. 23

Лукин Фёдор. Первый директор Центра микроэлектроники в Зеленограде. Возглавил Центр микроэлектроники. гл. 11

Ляпунов Алексей. Математик, кибернетик и педагог. Прочитал первую лекцию школьникам Академгородка. гл. 3, гл. 20

Максутов Дмитрий. Оптик; разработка оптических систем. Разрабатывал оптические системы. гл. 10

Малиновский Борис. Главный конструктор машины «Днепр», свидетель её внедрения. Доводил вычислительную машину до применения. гл. 3

Маненков Артур. Физик, участник исследований квантовой электроники. Участвовал в исследованиях квантовой электроники. гл. 2

Матюхин Николай. Разработчик М-1. Разрабатывал М-1. гл. 3

Медовар Борис. Специалист сварки и металлургии. Развивал сварочные и металлургические технологии. гл. 9

Мейман Теодор. Создатель первого лазера на рубине. Получил генерацию первого рубинового лазера. гл. 2

Мельников Владимир. Заместитель главного конструктора БЭСМ-6. Работал заместителем главного конструктора БЭСМ-6. гл. 3

Мизенер Дон. Исследователь течения жидкого гелия. Исследовал течение жидкого гелия. гл. 1

Миронов Арсений. Руководитель авиационных испытательных работ. Руководил авиационной испытательной работой. гл. 5

Мирошников Михаил. Оптик; свидетель развития приборостроения. Свидетельствовал о развитии оптического приборостроения. гл. 10

Михалевич Владимир. Специалист по вычислительным методам и управлению. Развивал последовательный анализ вариантов. гл. 13

Мишин Василий. Руководитель работ по Н-1 после Королёва. Продолжил Н-1 после смерти Королёва. гл. 5

Мороз Лев. Материаловед; титановые сплавы. Исследовал титановые сплавы. гл. 16

Морозов Александр Александрович. Разработчик автоматизированной системы «Львов». Разрабатывал АСУ «Львов». гл. 13

Муховатов Владимир. Физик; участник ранних токамачных исследований. Проследил путь от ранних камер к токамачным установкам. пролог

Мясищев Владимир. Авиаконструктор; руководил переработкой документации DC-3. Руководил переработкой документации DC-3. гл. 22

Никаноров Спартак. Свидетель истории ЛаСУРс; организатор и исследователь системного управления. Сохранил свидетельство о работе ЛаСУРс. гл. 15

Новожилов Генрих. Авиаконструктор; развитие пассажирских самолётов. Развивал пассажирские самолёты. гл. 18

Опрыско Юрий. Участник внедрения вычислений в судостроение. Внедрял вычисления в судостроение. гл. 3

Паниш Мортон. Физик Bell Laboratories; полупроводниковый лазер. Работал над полупроводниковым лазером в Bell Laboratories. гл. 2

Патон Борис. Руководитель исследований сварки и развития института. Продолжал и развивал исследовательскую работу института сварки. гл. 9

Патон Евгений. Создатель школы автоматической сварки. Соединял разработку сварки с заводским применением. гл. 9

Петров Борис. Специалист управления, участник космической кооперации. Работал над управлением и космической кооперацией. гл. 22

Петров Василий. Заместитель главного конструктора БЭСМ-6. Работал заместителем главного конструктора БЭСМ-6. гл. 3

Петровский Иван. Ректор МГУ; участник создания школы-интерната. Участвовал в создании школы-интерната при МГУ. гл. 20

Пиз Себастьян. Руководитель Калэмской лаборатории; организация проверки Т-3. Организовал британскую проверку Т-3. пролог

Пикок Никол. Физик, соавтор измерений температуры Т-3. Участвовал в независимых измерениях температуры. пролог

Плешаков Пётр. Министр радиопромышленности; решения о НИИВК. Сохранил статус НИИВК и назначил Рогачёва директором. гл. 23

Погребинский Соломон. Разработчик вычислительной техники киевской школы. Создавал вычислительную технику киевской школы. гл. 3

Подшивалов Д. Б.. Автор инструкции по автокоду БЭСМ-6. Описал автокод БЭСМ-6 для пользователя. гл. 3

Попов Виталий. Участник организации вычислительного центра КамАЗа. Организовывал учёт оборудования и производственных данных КамАЗа. гл. 13

Поттосин Игорь. Разработчик транслятора АЛЬФА. Разрабатывал транслятор АЛЬФА.

Прохоров Александр. Физик; квантовая электроника и молекулярный генератор. Исследовал путь от физического принципа к генератору. гл. 2

Рабкин Даниил. Специалист сварки. Развивал сварочную технологию. гл. 9

Радовский Виталий. Конструктор ракетных двигателей. Создавал ракетные двигатели. гл. 4

Рачук Владимир. Руководитель работ по двигателестроению. Руководил работами по двигателестроению. гл. 4

Резерфорд Эрнест. Физик; содействовал передаче оборудования Капице. Помог передать Капице лабораторное оборудование. гл. 1

Робинсон Дерек. Физик; британская лазерная диагностика Т-3. Вместе с советскими коллегами добился измеримого сигнала Т-3. пролог

Рогачёв Юрий. Разработчик вычислителей, преемник Карцева и руководитель НИИВК. Отстоял самостоятельность НИИВК и довёл М-13 до выпуска. гл. 3, гл. 23

Рождественский Дмитрий. Физик-оптик; организация отечественной оптической школы. Создавал отечественную оптическую школу. гл. 10

Савиных Виктор. Космонавт; восстановление «Салюта-7», автор дневника. Обследовал и восстанавливал станцию; сохранил записи ремонта. гл. 7

Сахаров Андрей. Физик; основы магнитного удержания плазмы. Разрабатывал основы магнитного удержания плазмы. пролог

Селюнин Василий. Соавтор статьи «Лукавая цифра». Обсуждал достоверность экономических показателей в «Лукавой цифре». гл. 25

Семенихин Всеволод. Один из авторов характеристики научных работ Побиска Кузнецова. Подписал характеристику работ Кузнецова. гл. 15

Семёнов Николай. Физикохимик; цепные реакции и научная школа. Создавал теорию цепных реакций и научную школу. гл. 1

Силин И. Н.. Разработчик механизма виртуальной памяти для БЭСМ-6 в ОИЯИ. Разрабатывал виртуальную память БЭСМ-6 в ОИЯИ. гл. 3

Скурихин Владимир. Руководитель внедрения вычислений в судостроение. Внедрял вычисления в судостроение и заводское управление. гл. 3

Слейтон Дональд. Участник американского экипажа «Союз — Аполлон». Участвовал в полёте американского корабля совместной программы. гл. 22

Смородинцев Анатолий. Вирусолог; испытания и массовое применение полиомиелитной вакцины. Испытывал вакцину и участвовал в её массовом применении. гл. 19

Соболев Сергей. Математик; кибернетика и научное образование. Защищал научное содержание кибернетики. гл. 3

Солк Джонас. Разработчик инактивированной полиомиелитной вакцины. Разработал инактивированную полиомиелитную вакцину. гл. 19

Соловьёв Владимир. Космонавт; межстанционная экспедиция. Перевозил аппаратуру с «Салюта-7» на «Мир». гл. 7

Старовский Владимир. Руководитель ЦСУ; участник спора об общегосударственной сети. Участвовал в комиссии и обсуждении общегосударственной сети. гл. 14

Стогний Анатолий. Участник разработки киевских вычислительных систем. Разрабатывал киевские вычислительные системы. гл. 3

Сэбин Альберт. Разработчик живой полиомиелитной вакцины; сотрудничество с советскими вирусологами. Передавал опыт и материалы живой вакцины советским коллегам. гл. 19

Табаксов Глеб. Руководитель НИИХИММАШ, автор воспоминаний об испытаниях. Настаивал на наземной отработке и сохранил память об испытаниях. гл. 5

Тамм Игорь. Физик; основы магнитного удержания плазмы. Разрабатывал основы магнитного удержания плазмы. пролог

Таунс Чарльз. Физик; молекулярный генератор и квантовая электроника. Работал над молекулярным генератором и квантовой электроникой. гл. 2

Теплицкий Леонид. Заместитель главного конструктора БЭСМ-6. Работал заместителем главного конструктора БЭСМ-6. гл. 3

Титов Владимир. Космонавт; эксплуатация орбитальных станций. Почти год работал на орбитальной станции. гл. 7

Тучкевич Владимир. Физик полупроводников; научная среда Физтеха. Создавал научную среду полупроводниковых исследований. гл. 2

Тюрин Владимир. Разработчик программных средств ДИСПАК. Разрабатывал программные средства ДИСПАК.

Усиков Константин. Инженер; программа увеличения срока службы Ил-18. Разрабатывал продление срока службы Ил-18. гл. 18

Феокистов Константин. Конструктор пилотируемых кораблей; свидетель решений по «Востоку». Участвовал в выборе устройства пилотируемого корабля. гл. 6

Форрест Майкл. Физик; участник британской проверки Т-3. Измерял температуру Т-3 и сохранил свидетельство о поездке. пролог

Франк Илья. Физик; развитие нейтронных исследований в Дубне. Возглавлял лабораторию, превратившую источник в исследовательскую базу. гл. 17

Франк-Каменецкий Давид. Физик; исследования горения и распространения пламени. Исследовал горение и распространение пламени. гл. 1

Френкель Яков. Физик-теоретик школы Иоффе. Развивал теоретическую физику в школе Иоффе. гл. 1

Халатников Исаак. Физик; создание Института теоретической физики и сохранение школы Ландау. Создавал институт для продолжения школы Ландау. гл. 1

Ханин Григорий. Экономист; альтернативные расчёты советской экономики. Пересчитывал экономические показатели и спорил с официальной статистикой. гл. 25

Харитон Юлий. Физик; участник научной среды Института химической физики. Работал в научной среде Института химической физики. гл. 1

Хаяши Ицуо. Физик Bell Laboratories; непрерывная генерация полупроводникового лазера. Добился непрерывной генерации полупроводникового лазера в Bell Laboratories. гл. 2

Холл Роберт. Создатель одного из первых полупроводниковых лазеров. Создал один из первых полупроводниковых лазеров. гл. 2

Хорстманн Дороти. Американская исследовательница; изучала советскую прививочную кампанию. Изучала советскую прививочную кампанию. гл. 19

Цайгер Герберт. Участник создания молекулярного генератора. Создавал молекулярный генератор. гл. 2

Чайковский М. Г.. Разработчик транслятора автокода БЭСМ-6. Разрабатывал транслятор автокода БЭСМ-6. гл. 3

Черток Борис. Конструктор и мемуарист; системы управления космической техники. Создавал системы управления и описал принятые решения. гл. 6

Чечулин Борис. Материаловед; титановые сплавы. Исследовал титановые сплавы. гл. 16

Чумаков Михаил. Вирусолог; организация массовой вакцинации против полиомиелита. Организовывал массовое применение живой вакцины. гл. 19

Шавлов Артур. Физик; предложение оптического квантового генератора. Предложил оптический квантовый генератор. гл. 2

Шкабара Екатерина. Участница создания МЭСМ. Участвовала в создании МЭСМ. гл. 3

Шкурба Виктор. Математик; задачи управления производством. Применял вычислительные методы к производственному расписанию. гл. 13

Шокин Александр. Организатор электронной промышленности и Центра микроэлектроники. Организовывал Центр микроэлектроники и электронную промышленность. гл. 11

Штайерль Альберт. Исследователь ультрахолодных нейтронов. Исследовал ультрахолодные нейтроны. гл. 17

Щёлкин Кирилл. Физик; научная среда исследований горения. Работал в научной среде исследований горения. гл. 1

Эванс Боб. Руководитель разработки IBM System/360. Руководил разработкой семейства IBM System/360. гл. 22

Эйнштейн Альберт. Предсказал вынужденное излучение, лежащее в основе квантовой электроники. Предсказал вынужденное излучение. гл. 2

Эмануэль Николай. Физикохимик, представитель школы Семёнова. Продолжал исследования в школе Семёнова. гл. 1

Эндерс Джон. Исследователь полиовируса; научные предпосылки вакцинации. Создавал научные предпосылки работы с полиовирусом. гл. 19

Приложение 6. Сокращения и обозначения

Расшифровки относятся к историческому контексту книги; позднейшие наименования организаций в библиографии могут отличаться. Индексы изделий не являются сокращениями и вынесены отдельно.

Сокращение	Значение
ASTP	Apollo-Soyuz Test Project; программа «Союз — Аполлон».
BIPM	Международное бюро мер и весов.
CDC	Control Data Corporation; изготовитель CDC 6600.
CGPM	Генеральная конференция мер и весов.
DOI	Постоянный цифровой идентификатор научной публикации.
EBR-I	Experimental Breeder Reactor I; американский экспериментальный реактор.
IAEA	Английское сокращение МАГАТЭ.
IBM	International Business Machines; разработчик System/360.
ICL	International Computers Limited; британская компьютерная компания.
INSAG	Международная консультативная группа по ядерной безопасности при МАГАТЭ; INSAG-7 — обозначение доклада 1992 года о Чернобыле.
ITER	Международный проект экспериментального термоядерного реактора.
JET	Joint European Torus; европейская токамачная установка в Калэме.
JETP	Англоязычное издание ЖЭТФ; сокращение в библиографии.

Сокращение	Значение
NASA	Национальное управление США по аэронавтике и исследованию космического пространства.
NCAR	Национальный центр атмосферных исследований США; эксплуатант CDC 6600.
OCR	Оптическое распознавание текста; обозначение технической обработки источников.
PDF	Формат электронного документа с фиксированной страницей.
RCA	Radio Corporation of America; американская электронная компания.
SI	Международная система единиц.
SORUCOM	Конференция по истории советской и российской вычислительной техники.
STFC	Science and Technology Facilities Council; британский совет по научно-техническим объектам.
UKAEA	United Kingdom Atomic Energy Authority; Управление по атомной энергии Великобритании.
USSR	Английское сокращение названия СССР.
АН	Академия наук.
АО / ОАО / ПАО	Акционерное общество / открытое акционерное общество / публичное акционерное общество; формы организаций в источниках.
АСУ	Автоматизированная система управления.
АСУП	Автоматизированная система управления предприятием.
АЭС	Атомная электростанция.
БЭСМ	Большая электронная счётная машина; семейство машин школы Лебедева.
ВАСХНИЛ	Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина.
ВВЭР	Водо-водяной энергетический реактор.

Сокращение	Значение
ВНИИНМ	Всесоюзный научно-исследовательский институт неорганических материалов.
ВНИИПАС	Всесоюзный научно-исследовательский институт прикладных автоматизированных систем.
ВНИИПОУ	Всесоюзный научно-исследовательский институт проблем организации и управления.
ВНИИТФ	Всесоюзный научно-исследовательский институт технической физики.
ВНИИФТРИ	Всесоюзный научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений.
ВНИИЭСО	Всесоюзный научно-исследовательский институт электросварочного оборудования.
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения.
ВПК	Военно-промышленный комплекс.
ВСМПО	Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение.
ВТ	Вычислительная техника.
ГДР	Германская Демократическая Республика.
ГКНТ	Государственный комитет по науке и технике.
ГНИПИ-ВТ	Государственный научно-исследовательский и проектный институт вычислительной техники.
ГСПИ	Государственный специализированный проектный институт; участник кооперации ИБР-2.
ГУ	Главное управление; в истории М-13 — подразделение министерства.
ДИСПАК	Диспетчер пакетов; операционная система БЭСМ-6.
ДМЗ	Днепровский машиностроительный завод в истории М-13.
ДОС	Долговременная орбитальная станция.

Сокращение	Значение
ДОСААФ	Добровольное общество содействия армии, авиации и флоту.
ЕС ЭВМ	Единая система электронных вычислительных машин.
ЖЭТФ	Журнал экспериментальной и теоретической физики.
ЗФТШ	Заочная физико-техническая школа.
ЗЭМЗ	Загорский электромеханический завод.
ИБР	Импульсный быстрый реактор; обозначение дубненских нейтронных источников.
ИТМ и ВТ	Институт точной механики и вычислительной техники.
ИТФ	Институт теоретической физики.
КБ	Конструкторское бюро.
КБХА	Конструкторское бюро химавтоматики.
КПСС	Коммунистическая партия Советского Союза.
ЛНЕТ	Название локальной вычислительной сети ОИЯИ на основе БЭСМ-6 и М-6000.
ЛНФ	Лаборатория нейтронной физики ОИЯИ.
ЛаСУРс	Лаборатория систем управления разработками систем; коллектив Побиска Кузнецова.
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии.
МАИ	Московский авиационный институт.
МГУ	Московский государственный университет.
МИР	Машина для инженерных расчётов; семейство киевских вычислителей.
МИЭТ	Московский институт электронной техники.
МНТЦ	Международный научно-технический центр.
МРП	Министерство радиопромышленности.

Сокращение	Значение
МСЗ	Машиностроительный завод в Электростали; в книге — производство ядерного топлива.
МФТИ	Московский физико-технический институт.
МЭСМ	Малая электронная счётная машина.
НАН	Национальная академия наук; название в источниках постсоветского периода.
НГУ	Новосибирский государственный университет.
НИИ	Научно-исследовательский институт.
НИИВК	Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов.
НИИДАР	Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи.
НИИМЭ	Научно-исследовательский институт молекулярной электроники.
НИИТМ	Научно-исследовательский институт точного машиностроения.
НИИХИММАШ	Научно-исследовательский институт химического машиностроения.
НИКИЭТ	Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники.
НИОКР	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.
НИЦ	Научно-исследовательский центр.
НИЦЭВТ	Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники.
НКВД	Народный комиссариат внутренних дел.
НПО	Научно-производственное объединение.
НТБ	Научно-техническая библиотека.
НТЦ	Научно-технический центр.

Сокращение	Значение
ОГАС	Общегосударственная автоматизированная система; проект сбора и обработки информации для учёта, планирования и управления.
ОИЯИ	Объединённый институт ядерных исследований, Дубна.
ОК	Орбитальный корабль.
ОКБ	Опытное конструкторское бюро.
ОКР	Опытно-конструкторская работа.
ОС	Операционная система.
ПО	Программное обеспечение; в названии предприятия может означать производственное объединение.
РАН	Российская академия наук.
РБМК	Реактор большой мощности канальный.
РВМ	Радиостанция передачи сигналов времени и частоты; обозначение станции.
РГАНТД	Российский государственный архив научно-технической документации.
РГБ	Российская государственная библиотека.
РКС	Российские космические системы; наименование организации в источниках.
РЛС	Радиолокационная станция.
РЭУ	Российский экономический университет; организация в ссылках на источники.
СКТБ	Специальное конструкторско-технологическое бюро.
СМ	Совет министров; в названии вычислительной техники — система малых ЭВМ, контекст различает значения.
СО	Сибирское отделение Академии наук.
СССР	Союз Советских Социалистических Республик.

Сокращение	Значение
СУНЦ	Специализированный учебно-научный центр.
США	Соединённые Штаты Америки.
ТАСС	Телеграфное агентство Советского Союза.
ТТЛ	Транзисторно-транзисторная логика.
УМШН	Управляющая машина широкого назначения; обозначение «Днепра».
УНК	Ускорительно-накопительный комплекс в Протвине.
УССР	Украинская Советская Социалистическая Республика.
УФН	Успехи физических наук; научный журнал.
ФГУП	Федеральное государственное унитарное предприятие.
ФМШ	Физико-математическая школа.
ФОС	Фотооригиналы на стекле для изготовления печатных плат.
ФТИ	Физико-технический институт.
ФТФ	Физико-технический факультет.
ЦАГИ	Центральный аэрогидродинамический институт.
ЦЕРН / CERN	Европейская организация ядерных исследований.
ЦК	Центральный комитет.
ЦНИИ	Центральный научно-исследовательский институт.
ЦНПО	Центральное научно-производственное объединение.
ЦРУ / CIA	Центральное разведывательное управление США.
ЦСУ	Центральное статистическое управление.
ЦЭМИ	Центральный экономико-математический институт.
ЭВМ	Электронная вычислительная машина.

Сокращение	Значение
ЭСЛ	Эмиттерно-связанная логика.
ЮРЗ	Южный радиозавод, Жёлтые Воды.

Машины, установки и программные системы

Обозначение	Что это	Где читать
АЛЬФА	Система программирования коллектива Ершова.	
СПУТНИК	Система сетевого планирования и управления.	гл. 15
М-1	Ранняя электронная вычислительная машина лаборатории Брука.	гл. 3
М-4 / М4-2М	Машины школы Карцева, предшественницы М-10 и М-13.	гл. 23
М-10	Многопроцессорная вычислительная машина школы Карцева.	гл. 23
М-13	Модульное семейство вычислительных машин; центральный сюжет о задержке выпуска.	гл. 23
М-20 / М-220	Вычислительные машины, упомянутые в истории программирования и научных расчётов.	гл. 3,

Обозначение	Что это	Где читать
БЭСМ-6	Большая электронная счётная машина; серийный научный вычислитель.	гл. 3,
КЕРМИТ / KERMIT	Средства обмена файлами между разными компьютерами.	
CDC 6600	Вычислительная машина Control Data; сопоставляется с БЭСМ-6.	гл. 21
P-7	Ракета, ставшая основой запусков первых спутников и корабля «Восток».	гл. 4, гл. 6
P-16	Ракета, при подготовке которой произошла катастрофа 24 октября 1960 года.	гл. 5
H-1 / H1-ЛЗ	Ракетно-космическая система советской пилотируемой лунной программы.	гл. 5
РД-107 / РД-108	Двигатели блоков Р-7.	гл. 4
РД-170 / РД-171	Мощные жидкостные ракетные двигатели.	гл. 4
РД-0120	Кислородно-водородный двигатель для «Энергии».	гл. 4
ТДУ-1	Тормозная двигательная установка «Востока».	гл. 6
СК-1	Скафандр первого пилотируемого полёта.	гл. 6

Обозначение	Что это	Где читать
ИБР / ИБР-30 / ИБР-2	Последовательность импульсных нейтронных источников ОИЯИ.	гл. 17
T-1 / T-3 / T-3A	Советские токамаки; этапы развития и независимой проверки.	пролог
TK-200 / TK-2000	Кислородные установки Капицы.	гл. 1
БН-600	Реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.	гл. 8
ВВЭР-210 / ВВЭР-365 / ВВЭР-440 / ВВЭР-1000	Обозначения моделей водо-водяных энергетических реакторов.	гл. 8
К-162	Подводная лодка проекта 661 с титановым корпусом.	гл. 16
DC-3 / PC-84 / Ли-2	Американский самолёт и обозначения его советского производства и развития.	гл. 22
Ил-18	Серийный советский пассажирский самолёт.	гл. 18
АИ-20 / АИ-20А / НК-4	Турбовинтовые двигатели в истории Ил-18.	гл. 18
SN74 / MC10000	Зарубежные семейства логических интегральных схем, рассмотренные Васенковым.	гл. 11
INSAG-1 / INSAG-7	Доклады МАГАТЭ по Чернобыльской аварии: первоначальный и пересмотренный анализ.	интермедия

Обозначение	Что это	Где читать
NA48 / ATLAS	Эксперименты ЦЕРНа, упомянутые в истории международной кооперации.	гл. 24
БТС-02	Атмосферный аналог орбитального корабля «Буран».	гл. 5
МКФ-6М	Многозональная фотокамера для космических исследований.	гл. 7
УВН-1 / УВН-2 / УВН-70А-1	Установки исследований ультрахолодных нейтронов.	гл. 17

Приложение 7. Источники и примечания

Примечания сгруппированы в порядке следования разделов книги. Нумерация самостоятельна для каждого раздела. Номер в основном тексте ведёт к соответствующему примечанию; ссылка «К тексту» возвращает к первому месту его упоминания.

Откуда эти сведения

Основу книги составляют опубликованные материалы, перечисленные в примечаниях к каждой главе. Это тематический корпус для истории конкретных разработок и коллективов. Он не является полным архивом советской науки или репрезентативной выборкой всех предприятий.

Свидетельства участников — воспоминания, дневниковые записи и интервью конструкторов, испытателей, программистов, учёных и космонавтов. Они помогают восстановить последовательность работ и увидеть препятствие глазами исполнителя. Суждения о мотивах коллег остаются суждениями автора свидетельства. Запись Савиных, воспоминания Глушкова и рассказ Рогачёва имеют разные дистанции до описанного события; это учитывается в повествовании.

Документы и технические публикации — статьи о результатах опытов, отчёты, инструкции, опубликованные постановления и материалы исследований. Например, параметры Т-3 сопоставляются по статье Nature и отчёту UKAEA, а разбор Чернобыля опирается на INSAG-7. Документ проверяется в пределах своего предмета: успешное измерение температуры ещё не устанавливает экономическую эффективность программы.

Истории учреждений и исследовательские работы связывают отдельные эпизоды, дают даты, состав кооперации и последующее развитие. В этой группе есть публикации институтов, музеев и исследователей, а также международных научных организаций. Институциональный очерк учитывается как изложение истории конкретной организации, со своим отбором событий.

Статистические и экономические материалы используются с указанием периода, территории и единицы счёта. Число приборов на сто семей отличается от доли семей, имеющих прибор; данные России отличаются от данных СССР. Альтернативная оценка названа именем её автора.

Материалы отбирались по связи с описанной работой: кто её выполнял, какое решение принято, как проверен результат и что произошло дальше. Предпочтение отдавалось публикации результата, документу и названному участнику. Когда основание уже — аннотация, электронное

воспроизведение или поисковый индекс, — это отмечено в соответствующем примечании. Наличие ссылки не означает одинаковой полноты проверки всех источников.

В корпус не вошли неопубликованные архивные дела, полные производственные журналы всех предприятий и единый сопоставимый баланс военных и гражданских ресурсов. Для таких вопросов сохранено приложение 4. Электронные адреса и библиографические сведения находятся в примечаниях. Документальная опора сцен указана в подразделах настоящего приложения. Датировка сохраняет точность источника; авторское объяснение отделено от свидетельства участника. Конкретные пробелы перечислены в примечаниях к главам.

К аннотации. Даты М-10 и М-13: Рогачёв.

К прологу «Пять тонн для проверки»

К началу раздела

К техническому объяснению «Пролог. Пять тонн для проверки».

Основа объяснения: источники^{1, 5} пролога.

К схеме лазерных измерений. Источники¹ и⁵.

К разделу «Начало июля 1969 года. Призма и первый сигнал».

Источник: биографический очерк Робинсона и публикация измерений; точный день получения сигнала не указан.^{6, 1}

[1] Peacock N. J., Robinson D. C., Forrest M. J., Wilcock P. D., Sannikov V. V. Measurement of the Electron Temperature by Thomson Scattering in Tokamak T3 // Nature. 1969. Vol. 224. P. 488–490. Published 1 November 1969. DOI: 10.1038/224488a0. <https://www.nature.com/articles/224488a0>

← К тексту

[2] Arnoux R. Off to Russia with a thermometer. ITER Organization. 9 October 2009. Материал со свидетельствами участника эксперимента Майкла Форрестра. <https://www.iter.org/node/20687/russia-thermometer>

← К тексту

[3] Arnoux R. August 1968: A revolution in fusion. ITER Organization. 4 August 2008. Свидетельства Жана Жакино и Валерия Чуянова. <https://www.iter.org/node/20687/august-1968-revolution-fusion>

← К тексту

[4] Arnoux R. Which was the first “tokamak”—or was it “tokomag”? ITER Organization. 27 October 2008. Свидетельство Владимира Муховатова. <https://www.iter.org/node/20687/which-was-first-tokamak-or-was-it-tokomag>

← К тексту

[5] Forrest M. J., Peacock N. J., Robinson D. C., Sannikov V. V., Wilcock P. D. Measurement of the Plasma Parameters in Tokamak T3-A by Thomson Scattering. UKAEA, Culham Laboratory. CLM-R 107. July 1970. Аннотация; разделы 1–3, печатные с. 1–2. <https://scientific-publications.ukaea.uk/wp-content/uploads/CLM-R107.pdf>

← К тексту

[6] Derek Robinson. 27 May 1941 — 2 December 2002 // Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. Раздел «A year in Moscow», печатные с. 401–406. Копия на сайте UKAEA: https://scientific-publications.ukaea.uk/wp-content/uploads/Published/Biogr.Mems-Fell.R.Soc_.pdf ← К тексту

[7] Rosen R. Symmetric Tokamak (1970–1974). Princeton Plasma Physics Laboratory. 29 May 2026. <https://www.pppl.gov/posts/2026/symmetric-tokamak-1970-1974> ← К тексту

[8] UK Atomic Energy Authority. Our history. Раздел «1969: The focus on the tokamak». <https://www.ukaea.org/about-ukaea/history/> ← К тексту

Температуры в градусах пересчитаны из килоэлектронвольт по соотношению $k_B T = E$: 1 кэВ соответствует приблизительно 11,6045 млн К. В тексте применено округление. В статье 1969 года и расширенном отчёте 1970 года описан различный объём измерений.

К главе 1. Сорок три ученика Ландау

К началу раздела

К разделу «1934–1961. Позвонить и сдать экзамен». Источник: воспоминания Евгения Лифшица; рассказ о порядке экзамена, без реконструкции отдельной встречи.¹

[1] Лифшиц Е. М. Лев Давидович Ландау // Успехи физических наук. 1969. Т. 97. Вып. 1. С. 169–186. Для главы: с. 171–175. Числа 43, 7 и 16 сверены со сканом с. 173; семь членов Академии не названы в книге семью академиками. https://ufn.ru/ufn69/ufn69_1/Russian/r691i.pdf ← К тексту

[2] ФТИ им. А. Ф. Иоффе. Создание и развитие института. Хронология: 1916, 1918, 1921–1924, 1932. <https://www.ioffe.ru/ru/institut/istoriya/sozdanie-i-razvitie/> ← К тексту

[3] Мемориальный музей-кабинет П. Л. Капицы. Хронология жизни и деятельности. Записи 1934–1939, 1943 и 1945 годов. <https://www.kapitza.ras.ru/museum/timeline.htm> ← К тексту

[4] Kapitza P. Viscosity of Liquid Helium below the λ -Point // Nature. 1938. Vol. 141. P. 74. DOI: 10.1038/141074a0. <https://www.nature.com/articles/141074a0> ; Allen J. F., Misener A. D. Flow of Liquid Helium II // Nature. 1938. Vol. 141. P. 75. DOI: 10.1038/141075a0. <https://www.nature.com/articles/141075a0> . Дата выпуска: 8 January 1938. <https://www.nature.com/nature/volumes/141/issues/3558> ← К тексту

[5] Waller I. Presentation Speech. Nobel Prize in Physics 1962. Абзацы о свойствах гелия, работе Ландау и нейтронном эксперименте в Стокгольме в 1957 году. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1962/ceremony-speech/> ← К тексту

[6] Ландау Л. Д. Теория сверхтекучести гелия-II // ЖЭТФ. 1941. Т. 11. С. 592. Проверена перепечатка: УФН. 1967. Т. 93. С. 495–520; аннотация и начало работы, с. 495. https://ufn.ru/ufn67/ufn67_11/Russian/r6711j.pdf
 ↪ К тексту

[7] Халатников И. М. Предисловие из сборника «30 years of the Landau Institute. Selected Papers». 1996. Русская версия на сайте ИТФ: <https://www.itp.ac.ru/about/history/khalat/> ↪ К тексту

[8] Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН. История института. <https://www.kapitza.ras.ru/index.php?cont=hist&lang=ru> ↪ К тексту

[9] Теоретический минимум Ландау. Официальная учебная программа, на которую ссылается ИТФ им. Л. Д. Ландау. Использована для связи разделов курса с подготовкой; современные 11 экзаменов не перенесены в описание исторического теорминимума. <https://teorminimum.ru/>
 ↪ К тексту

[10] Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова РАН. История института. <https://www.chph.ras.ru/institut/istoriya-instituta> ↪ К тексту

[11] Semenov N. N. Some Problems Relating to Chain Reactions and to the Theory of Combustion. Nobel Lecture, 11 December 1956. Начало лекции, с. 487–489; раздел о цепных реакциях и библиографические ссылки на работы 1934 и 1938 годов. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/semenov-lecture.pdf>
 ↪ К тексту

К главе 2. Свет, запёртый в кристалле

К началу раздела

К техническому объяснению «Глава 2. Свет, запёртый в кристалле». Основа объяснения: источники^{7, 8, 9}.

К разделу «От кристаллов в ящике стола к работающему прибору». Источники: воспоминания Алфёрова и публикации о гетероструктурах.^{9, 8, 7}

[1] Басов Н. Г., Прохоров А. М. О возможных методах получения активных молекул для молекулярного генератора // ЖЭТФ. 1955. Т. 28. С. 249–250. Поступила 1 ноября 1954 года. Прочитан английский перевод: Possible Methods of Obtaining Active Molecules for a Molecular Oscillator // Soviet Physics JETP. 1955. Vol. 1. P. 184–185. https://jetp.ras.ru/cgi-bin/dn/e_001_01_0185.pdf ↪ К тексту

[2] Prokhorov A. M. Quantum Electronics. Nobel Lecture, 11 December 1964. P. 110–113. Полный текст сохранён и прочитан. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/prokhorov-lecture.pdf>
 ↪ К тексту

[3] Dianov E. M. A. M. Prokhorov and Quantum Electronics // Physics–Uspekhi. 2007. Vol. 50. P. 649–656, особенно p. 650. Свидетельство сотруд-

ника и исследователя школы; ссылки на работы 1954, 1955 и 1958 годов.
https://ufn.ru/ufn07/ufn07_6/ufn076e_max.pdf ← К тексту

[4] Gordon J. P., Zeiger H. J., Townes C. H. Molecular Microwave Oscillator and New Hyperfine Structure in the Microwave Spectrum of NH₃ // Physical Review. 1954. Vol. 95. P. 282–284. DOI: 10.1103/PhysRev.95.282. Метаданные издателя: received 5 May 1954; published 1 July 1954.

<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.95.282> . Историческая справка Американского физического общества о первом лазере и премии 1964 года: <https://journals.aps.org/prl/50years/timeline> ← К тексту

[5] Maiman T. H. Stimulated Optical Radiation in Ruby // Nature. 1960. Vol. 187. P. 493–494. DOI: 10.1038/187493a0. Проверены аннотация и метаданные: рубин, оптическая накачка, 6943 Å.

<https://www.nature.com/articles/187493a0> . Статус первого лазера подтверждён научной справкой Нобелевского комитета [7]. ← К тексту

[6] Basov N. G. Semiconductor Lasers. Nobel Lecture, 11 December 1964. P. 89–93 и раздел об инжекционных лазерах; библиография. Полный текст прочитан. В книге не воспроизводится ошибочное/расходящееся обозначение страницы работы Басова, Вула и Попова в двух английских лекциях. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/basov-lecture.pdf> ← К тексту

[7] Royal Swedish Academy of Sciences. Advanced Information on the Nobel Prize in Physics 2000. P. 9, 12–13. Принцип двойной гетероструктуры; независимые предложения Алфёрова-Казаринова и Крёмера в 1963 году; работы Холла 1962 года; отправка сообщений групп Алфёрова и Паниша в мае и июне 1970 года. Эти месяцы относятся к представлению сообщений, не к датам журнальной публикации.

<https://www.kva.se/app/uploads/2000/10/globalassets-priser-nobel-2000-scibackfyen00.pdf> ← К тексту

[8] Алфёров Ж. И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // Физика и техника полупроводников. 1998. Т. 32. № 1. С. 3–18, особенно с. 4–6 и ссылки 18, 28–29. Страница издателя: <https://journals.ioffe.ru/articles/34218> . Прочитанная копия полного текста: <https://led22.ru/ledstat/p3-18.pdf> . Параметр 2,7 кА/см² относится к полосковым образцам; не смешан с 940 А/см² для широких лазеров. Современная событию статья 1970 года известна по библиографии и изложению автора, отдельно её полный текст на этом этапе не получен. ← К тексту

[9] Alferov Zh. I. The Double Heterostructure Concept and Its Applications in Physics, Electronics and Technology. Nobel Lecture, 8 December 2000. P. 416–418, рис. 3; по солнечным элементам — р. 418. Сохранённый PDF прочитан через OCR. Русская публикация: УФН. 2002. Т. 172. С. 1068–1086. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/alferov-lecture.pdf> ; https://ufn.ru/ufn02/ufn02_9/Russian/r029d.pdf . Рассказ о кристаллах и дата 1974 года атрибутированы Алфёрову. Наименование «Квант» дано без переноса поздней организационной формы НПО на 1974 год. Не

утверждается, что все батареи «Мира» имели этот тип элементов.

← К тексту

[10] Royal Swedish Academy of Sciences. The Nobel Prize in Physics 2000. Press release, 10 October 2000. Применения гетероструктур и распределение премии. <https://www.kva.se/en/news/nobelpriset-i-fysik-2000-2/>

← К тексту

К главе 3. Шесть тысяч ламп и первый расчёт

К началу раздела

К разделу «Киев. Потолок над МЭСМ». Источник: история первых советских ЭВМ; точный день переделки помещения в используемом изложении не указан.¹

К таблице истории М-13. По свидетельствам Рогачёва: разработка и передача, поставки и итог.

[1] Рогачёв Ю. В. Начало информатики и создание первых ЭВМ в СССР. Разделы 1.1-1.2. Виртуальный компьютерный музей. https://www.computer-museum.ru/articles/pervie_evm/229/ ← К тексту

[2] Глушков В. М. Основы безбумажной информатики. М.: Наука, 1982. Введение, с. 9-13. <https://ogas.glushkov.su/ua/glushkov/osnovy-bezbumazhnoj-ynformatyky-vvedenye-teoryya-treh-ynformatsyonnyh-barerov-573> . Второе издание: М.: Наука, 1987. <https://djvu.online/file/xHvPOAsJMYw6g> ← К тексту

[3] Соболев С. Л., Китов А. И., Ляпунов А. А. Основные черты кибернетики // Вопросы философии. 1955. № 4. С. 136-148. <https://www.computer-museum.ru/books/cybernetics.htm> ← К тексту

[4] Днепр (УМШН): характеристики компьютера, его создатели. Музей истории компьютерной науки и техники; собрание Б. Н. Малиновского. Удостоверение регистрации работы № 30832. https://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/GL_HALL2/COMPUTERS/Dnopr_param_r.html ← К тексту

[5] Малиновский Б. Н. Пионерские цифровые управляющие системы. Воспоминания о внедрении «Днепра». https://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/GL_HALL2/COMPUTERS/PioneerDnopr_System_r.html ← К тексту

[6] В. М. Глушков — основоположник информационных технологий в Украине и бывшем СССР. Раздел о машинах МИР; воспоминания В. М. Глушкова, З. Л. Рабиновича и А. А. Летичевского. https://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/GL_HALL2/MAIN-648_5_r.html ← К тексту

[7] BESM-6 Computer. Russian Virtual Computer Museum. <https://www.computer-museum.ru/english/besm6.htm> ← К тексту

[8] Подшивалов Д. Б. Автокод БЭСМ-6. М.: ИТМ и ВТ АН СССР, 1969. Выходные сведения, оглавление, с. 5-6. https://www.computer-museum.ru/books/besm6_instruction.pdf ← К тексту

[9] Математическое обеспечение вычислительных комплексов и сетей. Статья сотрудников ОИЯИ о работе школы Н. Н. Говоруна. Лаборатория информационных технологий ОИЯИ. <https://lit.jinr.ru/ru/node/749> ← К тексту

[10] МИЭТ. Хронология основных биографических событий. Записи 1965, 1966 и 1970 годов. <https://old.miet.ru/page/1128> ← К тексту

[11] Национальная академия наук Украины. Материалы юбилейной сессии Общего собрания, посвящённой В. М. Глушкову. https://old.nas.gov.ua/text/pdfNews/Zagalni%20zboru_Glushkov.pdf. Кибернетика и демократическое управление наукой: аннотация книги. <https://old.nas.gov.ua/UA/Book/Pages/Default.aspx?BookID=0000010474> ← К тексту

К интермедии «Когда государство мешало собственной науке»

К началу раздела

К разделу «Август 1948 года. Доклад получает политическое одобрение». Источники: стенограмма сессии ВАСХНИЛ и опубликованные кадровые документы.^{3, 4}

[1] Кабинет-музей П. Л. Капицы. Хронология жизни и деятельности. Записи 1938–1939 годов. <https://www.kapitza.ras.ru/museum/timeline.htm> ← К тексту

[2] РГАНТД. К 115-летию академика В. П. Глушко; Президентская библиотека. Валентин Петрович Глушко. Источники биографических дат, приведённые также в истории двигателей Глушко. <https://rgantd.ru/arh-docs/cosmos/k-115-letiyu-akademika-v-p-glushko/?lang=ru> ; https://www.prlib.ru/Great_Russia/outstanding_scientists_XX/Glushko ← К тексту

[3] О положении в биологической науке. Стенографический отчёт сессии ВАСХНИЛ, 31 июля — 7 августа 1948 года. Заключительное слово Т. Д. Лысенко. Цитата сверена по электронной публикации стенограммы. https://www.lib.ru/DIALEKTIKA/washniil.txt_with-big-pictures.html ← К тексту

[4] Летопись Московского университета. Сессия ВАСХНИЛ 1948 г. Воспроизведение постановления Политбюро № 365 от 9 августа 1948 года и изложение приказа № 1208 от 23 августа. <https://letopis.msu.ru/content/es-sessiya-vashnil-1948-g> ← К тексту

[5] Соболев С. Л., Китов А. И., Ляпунов А. А. Основные черты кибернетики // Вопросы философии. 1955. № 4. С. 136–148. <https://www.computer-museum.ru/books/cybernetics.htm> ← К тексту

К главе 4. Тридцать две камеры перед стартом

К началу раздела

[1] Глушко В. П. Электронная публикация материалов о ракетных двигателях: иллюстрации и характеристики РД-107 и РД-108, схемы размещения основных и рулевых камер.

<https://epizodsspace.narod.ru/bibl/glushko/rak-dv/text/08.html> ← К тексту

[2] Валентин Петрович Глушко (1908–1989). Президентская библиотека имени Б. Н. Ельцина. Биографическая справка и подборка материалов.

https://www.prilib.ru/Great_Russia/outstanding_scientists_XX/Glushko

← К тексту

[3] К 115-летию академика В. П. Глушко. Российский государственный архив научно-технической документации.

[https://rgantd.ru/arh-docs/cosmos/k-115-letiyu-akademika-v-p-glushko/?](https://rgantd.ru/arh-docs/cosmos/k-115-letiyu-akademika-v-p-glushko/?lang=ru)

[lang=ru](https://rgantd.ru/arh-docs/cosmos/k-115-letiyu-akademika-v-p-glushko/?lang=ru) ← К тексту

[4] Космический успех двигателя РД-107/108. Ростех.

<https://www.rostec.ru/media/news/kosmicheskiy-uspekhn-dvigatelya-rd-107-108/> ← К тексту

[5] НПО Энергомаш имени академика В. П. Глушко. Путь в ракетной технике / под ред. В. К. Чванова. К 75-летию предприятия. Электронные выдержки: разделы о создании и доводке двигателей для Р-7.

<https://www.kropov.ru/books/chvanov.htm> ← К тексту

[6] Рахманин В. Ф., Судаков В. С. Главный конструктор ракетных двигателей. К 90-летию В. П. Радовского. Научные чтения памяти К. Э. Циолковского. 2009. <https://readings.gmik.ru/lecture/2009-GLAVNIY-KONSTRUKTOR-RAKETNIH-DVIGATELEY-K-90-LETIYU-V-P-RADOVSKOGO>

← К тексту

[7] Современные жидкостные ракетные двигатели АО «НПО Энергомаш имени академика В. П. Глушко». Состояние программ и перспективы (к 110-летию со дня рождения академика В. П. Глушко) // Космическая техника и технологии. 2018. № 3 (22).

[https://sciup.org/sovremennye-zhidkostnye-raketnye-dvigateli-ao-npo-jenergomash-imeni-](https://sciup.org/sovremennye-zhidkostnye-raketnye-dvigateli-ao-npo-jenergomash-imeni-akademika-143168428)

[akademika-143168428](https://sciup.org/sovremennye-zhidkostnye-raketnye-dvigateli-ao-npo-jenergomash-imeni-akademika-143168428) ← К тексту

← К тексту

[8] РД0120. Конструкторское бюро химавтоматики. История разработки, производства и испытаний. <https://kbkha.ru/deyatelnost/raketnye-dvigateli-dlya-kosmicheskoy-otrasli/raketnye-dvigateli-ao-kbha/rd0120/> ← К тексту

К главе 5. Винт, который мог погубить ракету

К началу раздела

К разделу «Под Загорском, 1950-е. Ложная команда неподвижной ракете». Источник: воспоминания Кондратова; точная дата эпизода не названа.¹

Чего нет в источниках · Кондратов

Воспоминание устанавливает условие отказа, недотянутый винт и изменение крепления. Точная дата и распределение операций между членами бригады в используемом рассказе отсутствуют; независимый журнал этого испытания в корпус книги не включён.¹

[1] Испытания ракет С. П. Королёва на стендах НИИХИММАШ. Воспоминания сотрудников института / под ред. А. А. Макарова. Электронные выдержки, в том числе воспоминания В. Е. Кондратова и Ю. Ф. Валова. <https://kropov.ru/books/zagorsk.htm> ← К тексту

[2] Черток Б. Е. Ракеты и люди. Лунная гонка. Глава 3 «Лунная программа Н1-ЛЗ при Королёве». <https://www.astronaut.ru/bookcase/books/chert4/text/05.htm> ← К тексту

[3] Мишин В. П. Почему мы не слетали на Луну? Раздел «Без Королёва». <https://www.astronaut.ru/bookcase/books/mishin/text/05.htm> . Даты первого и последнего пусков: «Ракета-носитель Н-1», образовательный портал «Ключ на старт!». <https://keytostart.space/RussianSpace/Machine/46> ← К тексту

[4] Губанов Б. И. «Энергия»–«Буран» — шаг в будущее // Наука и жизнь. 1989. № 4. С. 2–9. Электронная перепечатка. <https://razumru.ru/science/astronomy/gubanov.htm> ← К тексту

[5] Роль авиационной науки в создании ОК «Буран». Публикация участника работ в журнале «АвиаСоюз», перепечатка на «АвиаПорте». <https://www.aviaport.ru/news/565457/> ← К тексту

[6] «Буран». Центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. Официальная историческая справка. <https://www.gtc.ru/print.php?id=236> ← К тексту

[7] NASA. Cosmonaut Vladimir Komarov. Биография: старт «Союза-1» 23 апреля 1967 года и гибель при возвращении 24 апреля вследствие отказа парашютной системы. https://starchild.gsfc.nasa.gov/docs/StarChild/space_level2/komarov.html ; сообщение ТАСС в переводе NASA: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19670017082> . ← К тексту

[8] Роскосмос. Памяти испытателей ракетно-космической техники. 24.10.2020. <https://www.roscosmos.ru/29455/> ; официальное сообщение к 65-летию трагедии: https://t.me/s/roscosmos_gk?before=18533 . Для датировки и факта несанкционированного запуска двигателя второй ступени; точное число погибших здесь не приводится. ← К тексту

К главе 6. Сто восемь минут общей работы

К началу раздела

К разделу «4 октября 1957 года. Сигнал с орбиты». Источники: история запуска и разработки радиостанции Д-200.^{1, 3}

[1] NASA. History — Sputnik.

<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/sputnik.html>

← К тексту

[2] Черток Б. Е. Ракеты и люди. Книга 1. Раздел «О времени и современниках». <https://epizodsspace.narod.ru/bibl/chertok/kniga-1/1-1.html>

← К тексту

[3] АО «Российские космические системы». РКС впервые открывает широкой аудитории отчет о разработке радиостанции первого искусственного спутника Земли. 05.10.2017. Публикация правообладателя на ВПК.name.

https://vpk.name/news/194089_rks_vpervye_otkryvaet_shirokoi_auditorii_otchet_o_razrabotke_radiostancii_pervogo_iskusstvennogo_sputnika_zemli.html

← К тексту

[4] Международная ассоциация участников космической деятельности. 8 мая 1957 года начато формирование первоначального Командно-измерительного комплекса. 08.05.2022.

<https://cosmosinter.ru/data/calendar/detail.php?ID=1418> ← К тексту

[5] Центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. Корабль «Восток» (корабль «Восток-3А», 3КА). <https://www.gctc.ru/main.php?id=296> ← К тексту

[6] Феоктистов К. П. Траектория жизни. Раздел «Первый полет». <https://www.astronaut.ru/bookcase/books/feoktistov/text/04.htm> ← К тексту

[7] АО «КБхиммаш имени А. М. Исаева». Исаевская школа двигателестроения. История конструкторского бюро.

<https://kbhimmash.ru/isaevskaya-shkola-dvigatelsestroeniya/> ← К тексту

[8] NASA. An Historic Day in Human Spaceflight. 12.04.2011.

<https://www.nasa.gov/image-article/an-historic-day-human-spaceflight/>

← К тексту

К главе 7. Вернуть свет на «Салют-7»

К началу раздела

К разделу «8-16 июня 1985 года. Вернуть свет и сохранить путь домой». Источник: опубликованные записи Виктора Савиных за дни ремонта.⁵

К техническому объяснению «Второй причал». Основа объяснения: источники^{1, 2, 3}.

Чего нет в источниках · Савиных

Опубликованные записи позволяют разделить стыковку, зарядку, включение света и восстановление систем по дням. Полный технический журнал наземных служб в корпусе отсутствует; последовательность ремонта изложена с позиции участника на борту.⁵

[1] Беляев М. Ю., Карасев Д. В., Матвеева Т. В., Рулев Д. Н. Грузовые корабли «Прогресс» в программах орбитальных станций (к 40-летию первого в мире полета грузового корабля к орбитальной станции) // Космическая техника и технологии. 2018. № 1 (20). <https://sciup.org/143166657> ← К тексту

[2] NASA. 45 Years Ago: Progress 1 Begins the Era of Space Station Resupply. 20.01.2023. <https://www.nasa.gov/history/45-years-ago-progress-1-begins-the-era-of-space-station-resupply/> ← К тексту

[3] Центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. Орбитальная станция «Салют-6». <https://www.gctc.ru/print.php?id=310> ← К тексту

[4] Yegorov A. D. Results of medical studies during long-term manned flights on the orbital Salyut-6 and Soyuz complex. NASA-TM-76014. 1979. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19800007537> ← К тексту

[5] Савиных В. П. Записки с мертвой станции. М.: ИД «Системы Алиса», 1999. Записи за 8–16 июня 1985 года; электронное воспроизведение. <https://www.forum.kosmonauta.net/index.php?topic=4431.0> ← К тексту

[6] Центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. «Мир». <https://www.gctc.ru/print.php?id=237> ← К тексту

[7] Центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. Астрофизический модуль «Квант». <https://www.gctc.ru/print.php?id=315> ← К тексту

[8] Интервью с Владимиром Алексеевичем Соловьевым в День космонавтики. Печорин.нет. 12.04.2020. <https://pechorin.net/articles/view/intierv-iu-s-vladimirom-alieksieievichiem-solov-ievym-v-dien-kosmonavtiki> ← К тексту

[9] Центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. Год в космосе: 25 лет с начала первого годового полёта. 25.12.2012. <https://www.gctc.ru/print.php?id=1791> ← К тексту

[10] Институт космических исследований РАН, Отдел астрофизики высоких энергий. «Квант»: орбитальная обсерватория «Рентген», результаты и история эксплуатации. <https://hea.cosmos.ru/projects/kvant/> ← К тексту

К главе 8. От пяти мегаватт до атомной отрасли

К началу раздела

К разделу «27 июня 1954 года. Обнинск даёт ток в сеть». Источник: история создания Обнинской АЭС.¹

[1] История Росатома. Обнинская АЭС. <https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-power-plants/obninskaya-aes/> ← К тексту

[2] Энергия: еженедельная газета ПАО «МЭЗ». № 22 (1464), июнь 2020. С. 4: материал о Ю. Н. Голованове и заводе № 12. https://www.profatom.ru/journals/profizdaniya/p_ENERGY_%202020_22_.pdf ← К тексту

[3] Уральский электрохимический комбинат. История предприятия: 1957, 1962, 1988 годы. <https://www.ueip.ru/AboutCompany/Pages/history.aspx> ← К тексту

[4] Концерн «Росэнергоатом». Годовой отчёт за 2009 год. Раздел о Нововоронежской АЭС. https://report.rosatom.ru/go/rosenergoatom/go_rosenergoatom_2009/go_rosenergoatom_2009.pdf ← К тексту

[5] Волгодонский эколого-исторический музей. Строительство «Атоммаша». <https://veimmuseum.ru/visitors/stroitelstvo-atommasha.php> ← К тексту

[6] Физико-энергетический институт. Реакторы на быстрых нейтронах. <https://www.ippe.obninsk.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors> ← К тексту

[7] Физико-энергетический институт. БН-600. <https://www.ippe.obninsk.ru/realized-projects/fast-neutrons-reactors/269-bn-600> ← К тексту

[8] История Росатома. Музей техники и технологии ФГУП «ПО «Маяк». <https://www.biblioatom.ru/museums/mayak/> ← К тексту

[9] IAEA. The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1. Safety Series No. 75-INSAG-7. Vienna, 1992. Разделы 5-6; приложение II, с. 131. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub913e_web.pdf ← К тексту

К интермедии «Разведка, собственная наука и атомный результат»

К началу раздела

[1] Атомный проект СССР. Документы и материалы. Т. II. Атомная бомба. 1945–1954. Кн. 6 / под общей редакцией Л. Д. Рябева. 2006. Введение; документ № 287, с. 644: доклад Л. П. Берии и И. В. Курчатова от 30 августа 1949 года. Прочитаны соответствующие фрагменты электронной публикации, не весь том. <https://djvu.online/file/6fj9N24zRkEGi> ← К тексту

[2] Харитон Ю. Б., Адамский В. Б., Смирнов Ю. Н. О создании советской водородной (термоядерной) бомбы // УФН. 1996. Т. 166. С. 201–205. Здесь использованы метаданные и редакционное предисловие к статье; технические утверждения из её полного текста не пересказываются. <https://ufn.ru/ru/articles/1996/2/f/> ← К тексту

К главе 9. Сварить танк. Построить мост

К началу раздела

К разделу «Военный Нижний Тагил. Испытание двух швов».

Источник: воспоминания Евгения Патона; точный день испытания не назван.⁴

[1] Ростех. Инновации Победы. Раздел об автоматической сварке бронекорпусов: число установок на Уральском танковом заводе в 1942–1944 годах. <https://rostec.ru/media/news/innovatsii-pobedy/> ← К тексту

[2] Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Хронология: 1934, 1937, 1939, 1942–1943 годы. <https://paton.org.ua/institut/istoriya/xronologiya/> ← К тексту

[3] E. O. Paton Electric Welding Institute. History. Раздел о работе Б. Е. Патона, В. И. Дятлова и сотрудников института в годы войны. <https://paton.org.ua/en/history/> ← К тексту

[4] Патон Е. О. Из воспоминаний. Фрагмент в краеведческом путеводителе «Вагонка», электронная публикация «История Нижнего Тагила». Использован текст воспоминаний, начинающийся словами «В холодное дождливое лето...», а не редакционное предисловие. https://historyntagil.ru/books/11_36_17.htm ← К тексту

[5] Опытное конструкторско-технологическое бюро Института электросварки им. Е. О. Патона. Историческая справка. <https://oktb-paton.org.ua/ru/istoricheskaya-spravka> ← К тексту

[6] Лобанов Л. М., Кирьян В. И. Шестьдесят лет цельносварному мосту им. Е. О. Патона // Автоматическая сварка. 2013. № 12. С. 35–40. <https://patonpublishinghouse.com/as/pdf/2013/pdfarticles/12/7.pdf> ← К тексту

К главе 10. Тридцать нанометров и общий миллиметр

К началу раздела

[1] Мирошников М. М. Академик Владимир Павлович Линник — основоположник современной оплотехники (к 120-летию со дня рождения) // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 6. С. 66–77. https://opticjourn.ru/file_storage/article/full_text/5ee43e210e2b070cfd1695267444a963d562a5d5.pdf ← К тексту

[2] ПАО «Калибр». ОАО «Калибр» — 85 лет! 11 июля 2017; «Калибру» 90 лет! 2022. <https://kalibr.tech/novosti/oao-kalibr-85-let> ; <https://kalibr.tech/novosti/kalibru-90-let> ← К тексту

[3] ПАО «Калибр». Технопарк «Калибр» передал Музею Победы раритеты военных лет. <https://www.kalibr.tech/index.php/novosti/tekhnopark-kalibr-peredal-muzeyu-pobedy-rarity-voennykh-let> ← К тексту

[4] BIPM. Resolution 6 of the 11th CGPM (1960). Definition of the metre. <https://www.bipm.org/en/-/resolution-cgpm-11-6> ← К тексту

[5] D. I. Mendeleyev Institute for Metrology. Laboratory of Length Measurement Standards and Metrological Lasers. Историческая справка о работах с 1950-х годов. <https://www.vniim.org/lab-length.html> ← К тексту

[6] Белоцерковский Д. Ю., Палий Г. Н. Государственная служба времени и частоты СССР // Измерительная техника. 1972. № 12. Электронная публикация ВНИИФТРИ. https://pvz.vniiftri.ru/history_1972.php ← К тексту

[7] ВНИИФТРИ. Публикация к столетию С. Б. Пушкина, 26 июля 2025 года. Официальный канал института. <https://t.me/s/vniiftri/900> ← К тексту

[8] BIPM. Resolution 1 of the 13th CGPM (1967). SI unit of time (second). <https://www.bipm.org/en/-/resolution-cgpm-13-1> ← К тексту

К главе 11. Зеленоград: завод внутри кристалла

К началу раздела

К разделу «Зеленоград, 1966 год. Два транзистора на пластине». Источник: история НИИМЭ и завода «Микрон».¹

К техническому объяснению «Производство точности». Основа технологического объяснения: источники^{1, 4, 5, 6}.

[1] НИИ молекулярной электроники. 60 лет в центре микроэлектроники. Историческая хронология: 1964–1980 годы. <https://60.niime.ru/> ← К тексту

[2] МИЭТ. В. Д. Вернер награждён медалью имени А. И. Шокина. 25 сентября 2012. Сведения о постановлении от 8 августа 1962 года. <https://miet.ru/event/38516> ← К тексту

[3] Лидер, которого помнят. К 100-летию Фёдора Викторовича Лукина // Электроника: НТБ. <https://www.electronics.ru/journal/article/414> ← К тексту

[4] НИИМЭ отмечает 90 лет со дня рождения академика К. А. Валиева. 2021. <https://www.niime.ru/press-center/news/1871-niime-otmechaet-90-let-so-dnya-rozhdeniya-akademika-k-a-valieva/> ← К тексту

[5] НИИ точного машиностроения. История: этапы развития. <https://niitm.ru/company/history/> ← К тексту

[6] Васенков А. А. Некоторые события из истории микроэлектроники / Под ред. Б. Малашевича. Виртуальный компьютерный музей. https://www.computer-museum.ru/books/vasenkov/vasenkov_3-1.htm ← К тексту

[7] «Ангстрем». О компании. История предприятия и технологий. <https://www.angstrom.ru/company/> ← К тексту

[8] МИЭТ. Хронология основных биографических событий. 1966 год. <https://old.miet.ru/page/1128> ← К тексту

К интермедии «Чернобыль: кто отвечает за остановку»

К началу раздела

[1] IAEA. The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1. Safety Series No. 75-INSAG-7. Vienna, 1992. Предисловие; разделы 4–5, в особенности 5.7–5.8. Прочитаны соответствующие фрагменты, а не заявлена постра-ничная экспертиза всех приложений.

https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub913e_web.pdf

← К тексту

К главе 12. Кто заставлял компьютер работать

К началу раздела

К таблице истории М-13. По свидетельствам Рогачёва: разработка и передача, поставки и итог.

[1] Касьянов В. Н. Ершов и графы в программировании // Андрей Петрович Ершов — учёный и человек. Новосибирск, 2006.

https://www.computer-museum.ru/books/n_ershov/2_ershov_graf.htm

← К тексту

[2] История АЛЬФА-проекта. Виртуальный компьютерный музей, публикация 24.05.2006. <https://www.computer-museum.ru/histsoft/alpha.htm>

← К тексту

[3] Тюрин В. Ф., Зельдинова С. А., Крайнева И. А. Операционная система ДИСПАК. 05.03.2016.

<https://www.computer-museum.ru/articles/operatsionnyye-sistemy/789/>

← К тексту

[4] Брухис Л. А., Ильин А. П. ОС «Диспак» для ЭВМ БЭСМ-6: состав, структура и особенности конфигурации. 15.11.2024.

<https://www.computer-museum.ru/articles/operatsionnyye-sistemy/7010/>

← К тексту

[5] Математическое обеспечение вычислительных комплексов и сетей. ОИЯИ, исторические материалы Лаборатории информационных технологий. <https://lit.jinr.ru/ru/node/749> ← К тексту

К интермедии «ЕС ЭВМ: зачем выбрали совместимость»

К началу раздела

К таблице истории М-13. По свидетельствам Рогачёва: разработка и передача, поставки и итог.

[1] Пржиялковский В. В. Исторический обзор семейства ЕС ЭВМ. Свидетельство руководителя разработки; разделы о несовместимости и зада-

нии на «Ряд». https://www.computer-museum.ru/histussr/es_hist.htm

← К тексту

[2] Левин В. К. Очерк становления Единой системы ЭВМ. Свидетельство руководителя аванпроекта; раздел «Аванпроект». Оценки целесообразности атрибутированы автору.

https://www.computer-museum.ru/histussr/es_levin.htm ← К тексту

[3] Пржиялковский В. В. Операционные системы ЕС ЭВМ. Раздел об ОС ЕС и сотрудничестве с «Роботроном».

https://www.computer-museum.ru/histsoft/oper_es.htm ← К тексту

К главе 13. КамАЗ: вычислительная машина входит через окно

К началу раздела

К разделу «Октябрь 1972 года. Половина машины остаётся в Васильеве». Источник: воспоминания Шамаева, опубликованные в 2020 году.¹

[1] Шамаев В. А. К 50-летию создания УОП. Воспоминания Шамаева Виталия Андреевича // Вести КАМАЗа. 09.03.2020.

<https://vestikamaza.ru/posts/k-50-letiyu-sozdaniya-uop-vozpominaniya-shamaeva-vitaliya-andreevicha/> ← К тексту

[2] Филинов Е. Н. История автоматизированных систем управления предприятиями (АСУП) // Виртуальный компьютерный музей.

<https://www.computer-museum.ru/histussr/asuphist.htm> ← К тексту

[3] Исаев В. П. Пути создания и развития АСУ. Воспоминания непосредственного участника; текст 2008 года. Сайт памяти А. И. Китова, РЭУ им. Г. В. Плеханова. <https://kitov.rea.ru/v-p-isaev> ← К тексту

[4] Попов В. П. К 50-летию создания УОП. Рассказывает Попов Виталий Павлович. Часть 1 // Вести КАМАЗа. <https://vestikamaza.ru/posts/k-50-letiyu-sozdaniya-uop-rasskazyvaet-popov-vitaliy-pavlovich-chast-1/>

← К тексту

К главе 14. Глушков у Косыгина

К началу раздела

К разделу «Ноябрь 1962 года. Косыгин принимает Глушкова».

Источник: воспоминания Глушкова, записанные в январе 1982 года.

Точный день приёма не назван.¹

Чего нет в источниках · Глушков

Воспоминания записаны в январе 1982 года и сообщают месяц приёма, имена и создание комиссии. Стенограмма встречи и свидетельство Косыгина об этом разговоре в использованном корпусе отсутствуют.¹

[1] Малиновский Б. Н. Исповедь. Последний подвиг учёного. Часть 2; Часть вторая. «Исповедь» учёного. 3–11 января 1982 г. Записи воспоминаний В. М. Глушкова и материалы о его работе. https://computer-museum.ru/books/vt_face/4_glushkov_4.htm ;

https://computer-museum.ru/galglory/glushkov_book_4_2.htm ← К тексту

[2] Життя та науковий шлях В. М. Глушкова. Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины. <https://www.incyb.kiev.ua/article/pro-vm-glushkov> ← К тексту

[3] Шкурба В. В. Глушков и ОГАС. Виртуальный компьютерный музей. <https://www.computer-museum.ru/articles/galglory/4031/> ← К тексту

[4] Жимерин Д. Г. Автоматизированная индустрия управления // Наука и жизнь. 1972. № 6. <https://www.nkj.ru/archive/articles/56932/> ← К тексту

[5] Глушков В. М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. М.: Статистика, 1975. 160 с. Особенно глава VII, с. 146–159. <https://djvu.online/file/e8TPQL3C5tIRJ> ← К тексту

К главе 15. Побиск Кузнецов: четыре тысячи связанных работ

К началу раздела

К техническому объяснению «Критический путь». Основа: работы Кузнецова и соавторов^{2, 3, 4}.

Чего нет в источниках

Описание метода и отдельных применений показывает, как учитывались зависимости работ. Оно не даёт общего сопоставимого ряда затрат и сроков для предприятий с такой системой и без неё. Единый процент экономического эффекта для всей практики ЛаСУРс здесь не установлен.

[1] Никаноров С. П. История возникновения, развития и ликвидации ЛаСУРс // Побиск Георгиевич Кузнецов: идеи и жизнь. Электронное издание в библиотеке Университета «Дубна».

https://lib.uni-dubna.ru/search/files/pk_idea/~pk_idea.htm ← К тексту

[2] Кузнецов П. Г. О введении системы сетевого планирования и управления на комплекс работ по созданию сложного объекта. 1966 // Отраслевое управление: избранные работы. М., 2023. С. 37–46. ← К тексту

[3] Беляков-Бодин В. И., Кузнецов П. Г., Шафранский В. В. Системы «СПУТНИК». 1968 // Там же. С. 46–62. ← К тексту

[4] Кузнецов П. Г. О системах «СПУТНИК-СКАЛАР» для планирования и управления очень большими комплексными программами. 1968 // Там же. С. 62–64. Полный текст сборника для источников [2–4]: <https://cosmatica.org/files/download/5029/278d6e94d2b2981a2c2ca1a1d099>

18ea Страница издания: <https://cosmatica.org/library/519-otraslevoe-upravlenie-izbrannye-raboty.html> ↪ К тексту

[5] Характеристика научной значимости работ П. Г. Кузнецова, подписанная В. М. Глушковым, В. С. Семенихиным и В. Г. Афанасьевым. 1975. Воспроизведена в издании «Побиск Георгиевич Кузнецов: идеи и жизнь». https://lib.uni-dubna.ru/search/files/pk_idea/~pk_idea.htm ↪ К тексту

К главе 16. Титан для глубины

К началу раздела

К разделу «28 декабря 1963 года. Цех № 42 принимает титан».

Источник: история освоения титанового корпуса на Севмаше.¹

[1] Севмаш. Корпоративное издание «Завод», файл zavod4.pdf: материалы о К-162 и цехе № 42. Используются доступные индексированные фрагменты заводской публикации. <https://sevmash.ru/download/zavod4.pdf> ↪ К тексту

[2] Орыщенко А. С. Интервью Аркадию Соснову «По хладостойким сталям мы точно впереди планеты всей». Известия, 12 февраля 2018. Перепечатка ЦНИИ КМ «Прометей»; историческая часть о задаче 1958 года. <https://www.cris-m-prometey.ru/news/smi/po-khladostoykim-stalyam-my-tochno-vperedi-planety-vsey/> ↪ К тексту

[3] ЦНИИ КМ «Прометей». «80 лет “Прометей”». Разделы об АК-25, Г. И. Капырине, И. В. Горыныне и становлении титанового направления. <https://old.cris-m-prometey.ru/80/index.html> ↪ К тексту

[4] ВСМПО-АВИСМА. «Корпорация»: официальная история предприятия. Используются доступные индексированные фрагменты. <https://vsm-po.net/corporation/> ↪ К тексту

[5] Чечулин Б. Б., Ушков С. С., Разуваева И. Н., Гольдфайн В. Н. Титановые сплавы в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1977. 248 с. Предисловие и раздел о влиянии примесей на свойства титана. В метаданных электронной копии фамилия Ушкова ошибочно указана как «Ушаков»; использовано написание из самой книги. <https://ru.djvu.online/file/iqWvvojwjuIkp> ↪ К тексту

[6] ЦНИИ КМ «Прометей». «Титановые сплавы»: история создания корпусных сплавов, сварки, конструкций морской техники и защиты от контактной коррозии. <https://cris-m-prometey.ru/about/activity/titanovye-splavy/> ↪ К тексту

[7] «В мире науки». Специальный выпуск 2013 года, материалы о ЦНИИ КМ «Прометей», с. 34–35: испытания К-162 в 1970 году. Использован индексированный фрагмент публикации на сайте НИЦ «Курчатовский институт». <https://nrcki.ru/files/pdf/1461577508.pdf> ↪ К тексту

К главе 17. Один нейтрон за две минуты

К началу раздела

К разделу «23 июня 1960 года. Стависский поднимается в анализаторную». Источник: воспоминания Юрия Стависского о пуске ИБР.¹

К техническому объяснению «Охота за медленным нейтроном».

Основа объяснения: источники^{1, 2, 3}.

Чего нет в источниках · Стависский

Рассказ участника фиксирует движение между пультовой и анализаторной и сужение импульса. Полный журнал смены и исходная кривая дня пуска в книге не воспроизводятся.¹

[1] ЛНФ ОИЯИ. «Исследования характеристик ИБРа и первые эксперименты». Воспоминания участника пуска и ранних исследований, подготовленные к сорокалетию ИБР; разделы о 23 июня 1960 года, электронике и обработке данных.

<https://flnph-old.jinr.ru/ru/history/memories/memories-of-our-employees/first-experiments> ← К тексту

[2] ЛНФ ОИЯИ. «История ЛНФ»: история импульсных исследовательских реакторов. Даты создания, параметры первого ИБР, кооперация, переход к ИБР-30 и ИБР-2. Сведения о позднейшей модернизации в текст главы не переносились. <https://flnph-old.jinr.ru/ru/history/history-of-reactors>

← К тексту

[3] ISIS Neutron and Muon Source, STFC. A Practical Guide to the ISIS Neutron and Muon Source. Раздел о методе времени пролёта. Использован для объяснения физического принципа, а не истории советских установок. <https://www.isis.stfc.ac.uk/wp-content/uploads/2025/12/A-Practical-Guide-to-the-ISIS-Neutron-and-Muon-Source.pdf> ← К тексту

[4] Музей истории науки и техники ОИЯИ. «Открытия. Подробно», раздел «Явление удержания медленных нейтронов»: описание открытия № 171 и свидетельства его участников. Использованы сведения о принципе удержания, теоретической работе Зельдовича и целях точных измерений. Устаревшие популярные модели строения нейтрона из этой публикации не использованы. <https://museum.jinr.ru/ru/news/67.htm>

← К тексту

[5] Pokotilovski Yu. N. Experiments with ultracold neutrons — first 50 years. 2018. arXiv:1805.05292. С. 3–5: воспоминания непосредственного участника об эксперименте 1968 года, нейтроновом детекторе, фоне, контрольных измерениях и параллельной работе А. Штайерля. 133 секунды — округлённый пересчёт приведённой автором скорости полезного счёта $0,0075 \text{ c}^{-1}$. <https://arxiv.org/pdf/1805.05292> ← К тексту

[6] Strelkov A. V., Hetzelt M. Observation of heating of ultracold neutrons as the cause of the anomalous limitation of their confinement time in closed vessels. Soviet Physics JETP. 1978. Vol. 47, No. 1. P. 11–18. Русский оригинал

нал: ЖЭТФ. 1978. Т. 74. С. 23–36. Статья поступила 6 июля 1977 года.
https://jetp.ras.ru/cgi-bin/dn/e_047_01_0011.pdf ← К тексту

К главе 18. Ил-18: право на следующий рейс

К началу раздела

К разделу «20 апреля 1959 года. Ил-18 входит в расписание».

Источники: история Ил-18 и изложение конструкторов ОКБ.^{1,3}

[1] Музей авиационной техники Центрального аэроклуба ДОСААФ Республики Беларусь. Аудиогид «Дальнемагистральный пассажирский самолет Ил-18В». Даты первого полёта, начала перевозок и история музейного борта СССР-75781. Дискуссионные суммарные показатели выпуска и безаварийности из этого текста не использованы.

<https://izi.travel/ru/browse/b51a03c7-42a4-4a89-ae38-a46a01df8c3e>

← К тексту

[2] Новожилов Г. В. Интервью portalу «Факты и комментарии», опубликованное на сайте МАИ. Свидетельство о постановке Ильюшиным задачи удешевления пассажирских перевозок. Ценовой ориентир приводится как намерение конструктора, а не как доказанное равенство тарифов.

<https://mai.ru/press/news/detail.php?ID=29700> ← К тексту

[3] Дмитриев С. И. Турбовинтовой самолет Ил-18 // Из истории советской авиации. Самолеты ОКБ имени С. В. Ильюшина / Г. В. Новожилов, Д. В. Лещинер, В. М. Шейнин и др. М.: Машиностроение, 1990. С. 224–232. Электронный каталог ошибочно указывает редактора Е. А. Мокринскую как автора; авторство раздела установлено по оглавлению и выходным данным книги. <https://ru.djvu.online/file/CRUPvKsu3y3Ye> ← К тексту

[4] Авиационный турбовинтовой двигатель АИ-20А. Техническое описание / Составил главный конструктор А. Г. Ивченко при участии сотрудников. М.: Оборонгиз, 1962. Предисловие и разделы о воздушном винте, его регулировании и флюгировании. <https://djvu.online/file/1rciXLgLwjCP>

← К тексту

[5] Чуев Ф. И. Ильюшин. Беседы с Г. В. Новожиловым: назначение заместителем, работа с К. Д. Усиковым над сроками службы и рассмотрение программы С. В. Ильюшиным, с. 233–237 электронной версии. Роль Новожилова во внедрении Ил-18 также описана А. Н. Пономарёвым в книге «Советские авиационные конструкторы» (1990).

<https://militera.lib.ru/bio/chuev/03.html>

https://www.universalinternetlibrary.ru/book/59705/chitat_knigu.shtml

← К тексту

[6] Министерство гражданской авиации СССР. Регламент технического обслуживания самолета Ил-18. Ч. 1. Планер и силовые установки. Периодические формы. Утверждён 4 апреля 1974 года. 153 с.; Регламент технического обслуживания самолета Ил-18. Ч. 1, 2. Планер, силовая установка, авиационное и радиоэлектронное оборудование. Оперативные формы. М.: Воздушный транспорт, 1983. 45 с. Используются библиогра-

фические записи РГБ для подтверждения состава документов, без пере-
сказа непрочитанного полного текста.

<https://search.rsl.ru/ru/record/01006862002>

<https://search.rsl.ru/ru/record/01001143738> ← К тексту

[7] Холодильная техника. 1990. № 5. Материал по истории и состоянию производства бытовых холодильников, фрагмент с обеспеченностью населения за 1960 и 1988 годы. Приведены данные публикации, современной описываемому состоянию; показатель не истолковывается как процент оснащённых домохозяйств. <https://djvu.online/file/X7ElBOvGvh8c5>

← К тексту

К интермедии «Оборона и гражданка»

К началу раздела

[1] Источники пассажирской авиации и бытовой техники, массовой вакцинации. Эти конкретные случаи не используются для расчёта общей доли оборонных расходов. ← К тексту

[2] Источники сварки — глава 9; вычислений и заводского управления — главы 3, 12-15; микроэлектроники — глава 11. Таблица — аналитическое сопоставление условий применения, не статистический баланс отраслей.

← К тексту

К главе 19. Вакцина для миллионов

К началу раздела

К разделу «1960 год. Вакцина в драже». Источник: отчёт Чумакова и сотрудников о массовой вакцинации.¹

[1] Chumakov M.P. et al. Some results of the work on mass immunization in the Soviet Union with live poliovirus vaccine prepared from Sabin strains. Bulletin of the World Health Organization. 1961.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13879389/> ← К тексту

[2] World Health Organization. History of polio vaccination.

<https://www.who.int/news-room/spotlight/history-of-vaccination/history-of-polio-vaccination> ← К тексту

[3] Дроздов С.Г. М.П. Чумаков и ликвидация полиомиелита на земном шаре. Ликвидация полиомиелита. № 6 (24), ноябрь — декабрь 2002.

<https://medi.ru/info/2240/> ← К тексту

[4] Волчок А. Константин Чумаков об эпидемии SARS-CoV-2, стратегии ликвидации полиомиелита и своих знаменитых родителях. Интервью. Биомолекула, 22 июня 2020. Использован раздел воспоминаний о родителях. <https://biomolecula.ru/articles/konstantin-chumakov-ob-epidemii-sars-cov-2-strategii-likvidatsii-poliomielita-i-svoikh-znamenitikh-roditeliakh>

← К тексту

[5] Smorodintsev A.A. et al. Immunological and epidemiological effectiveness of live poliomyelitis vaccine in the USSR. Bulletin of the World Health Organization. 1960;23(6):705–725.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20604073/> ← К тексту

[6] Horstmann D.M. The Sabin live poliovirus vaccination trials in the USSR, 1959. Yale Journal of Biology and Medicine. 1991;64:499–512.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1814062/> ← К тексту

К главе 20. Школьник получает адрес лаборатории

К началу раздела

К разделу «21 января 1963 года. Ляпунов читает первую лекцию». Источник: история новосибирской физико-математической школы; содержание первой лекции в использованном очерке не приведено.¹

Чего нет в источниках · История школы

Институциональная публикация даёт дату и предмет первой лекции. Её текст и свидетельство ученика о занятии в корпус не включены. Позднейшие масштабы отбора описывают развитие школы, а не состав первой аудитории.¹

[1] СУНЦ НГУ. История ФМШ. https://sesc-edu.nsu.ru/fismatschool_history ← К тексту

[2] СУНЦ МГУ. Хронограф. Раздел 1963–1973. <https://internat.msu.ru/about/istoriya/chronograph/> ← К тексту

[3] МФТИ. Физико-техническая контрольная «Выходи решать!» шагает по миру. Историческая справка о ЗФТШ. <https://conf.mipt.ru/articles/427> ← К тексту

[4] Архив журнала «Квант». История журнала. <https://www.kvant.digital/about/history/> ← К тексту

[5] МФТИ для поступающих. Раздел «Система Физтеха», принципы письма П.Л. Капицы от 1 февраля 1946 года. <https://to.mipt.ru/> ← К тексту

[6] Музей истории МФТИ. История МФТИ. Включает тексты приказов 1951 года. <https://museum.mipt.ru/история-мфти/> ← К тексту

К главе 21. Первый — в чём именно?

К началу раздела

К схеме атомной электроэнергии. По материалу МАГАТЭ:⁴

[1] NASA. Apollo 11 Mission Overview. <https://www.nasa.gov/history/apollo-11-mission-overview/> ← К тексту

[2] NASA. 50 Years Ago: Skylab 4 Astronauts Return From Record-Breaking Spaceflight. <https://www.nasa.gov/history/50-years-ago-skylab-4-astronauts-return-from-record-breaking-spaceflight/> ← К тексту

[3] NASA. 45 Years Ago: Progress 1 Begins the Era of Space Station Resupply. <https://www.nasa.gov/history/45-years-ago-progress-1-begins-the-era-of-space-station-resupply/> ← К тексту

[4] IAEA. 50 Years of Nuclear Energy. 2004. С. 1–2, раздел А. https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc48inf-4-att3_en.pdf ← К тексту

[5] Электронная вычислительная машина БЭСМ-6. Техническое описание и история разработки. <https://besm-6.ru/besm6.html> ← К тексту

[6] NCAR, Computational and Information Systems Lab. CDC 6600. История эксплуатации в центре. <https://www.cisl.ucar.edu/ncar-supercomputing-history/cdc6600> ← К тексту

[7] IBM. The IBM System/360. <https://www.ibm.com/history/system-360> ← К тексту

К главе 22. Чужой чертёж, собственная работа

К началу раздела

К схеме совместимости кораблей. По докладу У. Л. Суона:⁷.

[1] Музей Победы. Военно-транспортный самолёт Ли-2. СССР. <https://victorymuseum.ru/encyclopedia/technic/voenno-vozdushnye-sily/voenno-transportnyy-samolet-li-2-sssr/> ← К тексту

[2] Ростех. От циркуля до виртуальной реальности. Начало. <https://rostec.ru/media/news/ot-tsirkulya-do-virtualnoy-realnosti-nachalo/> ← К тексту

[3] UK Atomic Energy Authority. Our history. Разделы 1969 и 1973–1983. <https://www.ukaea.org/about-ukaea/history/> ← К тексту

[4] Peacock N.J., Robinson D.C., Forrest M.J., Wilcock P.D., Sannikov V.V. Measurement of the Electron Temperature by Thomson Scattering in Tokamak T3. Nature. 1969. Vol.224. P.488–490. DOI:10.1038/224488a0. <https://www.nature.com/articles/224488a0> ← К тексту

[5] NASA. ASTP — Overview. <https://www.nasa.gov/history/astp/overview.html> ← К тексту

[6] NASA. Apollo-Soyuz Test Project Overview. <https://www.nasa.gov/missions/apollo-soyuz-test-project-overview/> ← К тексту

[7] Swan W.L., Jr. Apollo-Soyuz Test Project Docking System. Tenth Aerospace Mechanisms Symposium. 1976. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19760021187> ; полный текст: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19760021187/downloads/19760021187.pdf> ← К тексту

К главе 23. М-13: машина есть, выпуска нет

К началу раздела

К таблице истории М-13. По свидетельствам Рогачёва: разработка и передача, поставки и итог.

К разделу «1981-1991. Сохранить институт и найти завод». Источники: воспоминания Юрия Рогачёва о производстве М-13 и его история четырёх поколений машин Карцева.^{1, 3}

Чего нет в источниках

Производственная хронология опирается прежде всего на Рогачёва. В использованных материалах нет сопоставимого по подробности рассказа руководителей заводов и «Вымпела» об этих же решениях. Поэтому персональные оценки участника не превращаются здесь в согласованную позицию всех сторон.^{1, 3}

[1] Рогачёв Ю. В. ЭВМ М-13. Из воспоминаний об истории создания машин М-1 — М-13. Виртуальный компьютерный музей. Свидетельство участника: подготовка производства, фотооригиналы, задержки на ДМЗ и ЮРЗ, переход к ЗЭМЗ. <https://www.computer-museum.ru/books/m1-m13/m13.htm> ← К тексту

[2] Рогачёв Ю. В. Электронная вычислительная машина М-13. Техническое описание. Виртуальный компьютерный музей. Использовано описание архитектуры; краткие календарные сведения этой страницы не использованы из-за расхождения с развёрнутой историей. <https://www.computer-museum.ru/histussr/m13.htm> ← К тексту

[3] Рогачёв Ю. В. Четыре поколения вычислительных машин М. А. Карцева (М-4, М4-2М, М-10, М-13). Материалы SORUCOM 2006; опубликовано 30 января 2008 года. Использованы сведения о М4-2М, М-10 и результатах выпуска М-13. https://www.computer-museum.ru/histussr/m4_m13.htm ← К тексту

[4] Постановление ЦК КПСС и Совета министров СССР от 12 июля 1979 года № 695 «Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работы». Пункты 51-52. Текст нормативного документа. https://internet-law.ru/documents/dop_documents/64/tipov_28759/0/posta.html ← К тексту

К главе 24. После «Бурана»: что нельзя законсервировать

К началу раздела

К разделу «Май 1989 года. Минимум для продолжения». Источник: Борис Губанов, «Проблемы экономики»; свидетельство участника, не стенограмма Совета обороны.¹

Чего нет в источниках · Губанов и Кочетков

Губанов сообщает предмет обращения и собственную оценку исхода; полного состава Совета, стенограммы и текста решения за май 1989 года в использованной главе нет. Оценка 70% у Кочеткова относится к магнитам и связанному оборудованию УНК; независимая инвентарная ведомость в корпус не включена.^{1, 4}

[1] Губанов Б. И. Триумф и трагедия «Энергии». Том 3, глава 44 «Проблемы экономики». Свидетельство участника о просьбе восстановить минимальное финансирование и его оценка исхода обсуждения. В редакции 0.9 прочитан русский текст полного воспроизведения главы: https://www.buran.fr/en/documentation/documentation-gubanov.php?file_doc_=t3p44 (раздел Original version of the text, заключительные абзацы). Числовые финансовые сопоставления автора в повествование не переносились. Прежний адрес публикации: <https://buran.ru/htm/44-3.htm> ← К тексту

[2] Российская академия наук. Академику Семенову Юрию Павловичу — 85 лет! 2020. Дата первого автоматического орбитального полёта «Бурана». <https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=97f38b72-67e3-44c7-adf4-f1dd3e4debb0> ← К тексту

[3] История системы «Энергия — Буран», публикация книги НПО «Энергия» на buran.ru. Решения 1991 и 1992 годов; использован доступный индексированный текст. <https://www.buran.ru/htm/bigbook2.htm> ← К тексту

[4] Kotchetkov, Dmitri. Soviet Hadron Collider. Bulletin of the American Physical Society. Volume 62, Number 1. Доклад 30 января 2017 года, Abstract S2.00008. Проект УНК, строительство, пересмотр в 1993 году и остановка в конце 1990-х. Доля изготовленного оборудования приведена с атрибуцией автору доклада. <https://meetings.aps.org/Meeting/APR17/Session/S2.8> ← К тексту

[5] Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2015 года. Утверждена Межведомственной комиссией по научно-инновационной политике, протокол от 15 февраля 2006 года № 1. Раздел «Положение в научной сфере». Данные о расходах и категориях персонала. В редакции 0.4 использован поисковый индекс; при подготовке 0.5 показатели повторно сопоставлены с открытым воспроизведе-

нием раздела «Положение в научной сфере»:

https://meganorm.ru/mega_doc/dop1/58/rasporiyazhenie_pravitelstva_rf_ot_08_12_2011_N_2227-r_ob/0/strategiya_razvitiya_nauki_i_innovatsiy_v_rossiyskoy.html .

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_101907/5097a194f872a3d1d75c325a7a6c43b60bde67b9/ <https://base.garant.ru/198072/> ↪ К тексту

[6] Weapons abandoned in favour of detectors. CERN Courier, 7 March 2000. МНТЦ, объёмы поддержки, участники проектов NA48 и ATLAS. <https://cern-courier.web.cern.ch/a/weapons-abandoned-in-favour-of-detectors/> ↪ К тексту

К интермедии «Те, кто ушёл»

К началу раздела

[1] NobelPrize.org. Transcript from an interview with the 2010 physics laureates. Ответ Andre Geim о поездке 1990 года и профессиональных условиях. Прочитан доступный индексированный фрагмент интервью; воспоминание обозначено как личная оценка. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2010/geim/169941-2010-physics-laureates-interview-transcript/> ↪ К тексту

[2] Стратегия развития науки и инноваций Российской Федерации до 2015 года, раздел «Положение в научной сфере»: полные ссылки в примечании 5 главы 24. Категории персонала и период не подменены показателем эмиграции. ↪ К тексту

К главе 25. Как стране вынесли технический приговор

К началу раздела

[1] Ханин Г. И. Нерентабельность лжи. «Лукавая цифра»: 30 лет продолжения. Знамя. 2017. № 8. Авторское ретроспективное свидетельство о статье: Селюнин В., Ханин Г. Лукавая цифра // Новый мир. 1987. № 2. С. 181–201. Числовые переоценки национального дохода из ретроспективы не использованы. Оригинал 1987 года целиком не прочитан. <https://znamlit.ru/publication.php?id=6680> ↪ К тексту

[2] Krugman, Paul. The Myth of Asia's Miracle. Foreign Affairs. November–December 1994. Vol. 73. No. 6. P. 62–78. Использованы с. 64–69; краткая подпись на с. 66 переведена на русский. Автору не приписывается отрицание советских научных открытий. https://cooperative-individualism.org/krugman-paul_the-myth-of-asia%27s-miracle-1994-dec.pdf <https://www.jstor.org/stable/20046929> ↪ К тексту

[3] NobelPrize.org. The history of the laser; The Nobel Prize in Physics 1964. Независимость работ 1954 года и распределение премии. <https://educationalgames.nobelprize.org/educational/physics/laser/facts/>

history.html <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1964/summary/>
 ← К тексту

[4] Peacock N. J., Robinson D. C., Forrest M. J., Wilcock P. D., Sannikov V. V. Measurement of the Electron Temperature by Thomson Scattering in Tokamak T3. *Nature*. 1969. Vol. 224. P. 488–490. DOI: 10.1038/224488a0. Библиографические сведения и аннотация; платный полный текст не использован. <https://www.nature.com/articles/224488a0> ← К тексту

[5] UK Atomic Energy Authority. Our history. Раздел «1969: The focus on the tokamak». Проверка Т-3 и изменение направления исследований Калэма. <https://www.ukaea.org/about-ukaea/history/> ← К тексту

[6] Royal Swedish Academy of Sciences / NobelPrize.org. The Nobel Prize in Physics 2000 — Summary; Advanced information on the Nobel Prize in Physics 2000; Herbert Kroemer — Facts. Используются официальные сведения о премии и доступный индексированный фрагмент об экспериментах 1968 и 1970 годов.

<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2000.pdf>

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2000/kroemer/facts/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2000/summary/> ← К тексту

К главе 26. Сила, которую нужно воспроизводить

К началу раздела

К таблице истории М-13. По свидетельствам Рогачёва: разработка и передача, поставки и итог.

[1] Архивы Российской академии наук. Мемориальный кабинет академика М. А. Лаврентьева в Институте гидродинамики СО РАН. Постановления 18 мая и 7 июня 1957 года; инициаторы и устройство института. <https://www.arran.ru/node/705> ← К тексту

[2] СУНЦ НГУ. История ФМШ. Система отбора, масштабы олимпиад и летней школы, финансирование поездок, здания 1969 года. Числа участников относятся к описанию становления системы, а не исключительно к первому набору. https://sesc-edu.nsu.ru/fismatschool_history ← К тексту

[3] Музей истории МФТИ. История МФТИ; Олег Михайлович Белоцерковский. Создание ФТФ и МФТИ, выпуск 1952 и назначение ректором 1962. <https://museum.mipt.ru/история-мфти/> <https://museum.mipt.ru/олег-михайлович-белоцерковский/> ← К тексту

[4] Лобанов Л. М., Кирьян В. И. Шестьдесят лет цельносварному мосту им. Е. О. Патона. Автоматическая сварка. 2013. № 12. С. 35–40. Размеры, сроки, объём металлоконструкций и доли автоматизированной сварки. <https://patonpublishinghouse.com/as/pdf/2013/pdfarticles/12/7.pdf>
 ← К тексту

[5] Chumakov M. P. et al. Some results of the work on mass immunization in the Soviet Union with live poliovirus vaccine prepared from Sabin strains.

Bulletin of the World Health Organization. 1961. Vol. 25. P. 79–91. Отчёт авторов о масштабах вакцинации 1959 и 1960 годов.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13879389/>

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2555546/> ← К тексту

[6] Рогачёв Ю. В. ЭВМ М-13. Воспоминания участника о производственных задержках и передаче изготовления Загорскому электромеханическому заводу. <https://www.computer-museum.ru/books/m1-m13/m13.htm> ← К тексту

[7] ФТИ им. А. Ф. Иоффе. К 95-летию со дня рождения Жореса Ивановича Алфёрова. Институтская публикация 2025 года о международном симпозиуме 1993 года под председательством Алфёрова и Лео Есаки. <https://www.ioffe.ru/ru/filer/canonical/1742196520/3125/> ; памятный материал коллектива: <https://journals.ioffe.ru/misc/Alferov-ftp.pdf> . Использован документированный факт организации симпозиума; обстоятельства в зале и разговоры не реконструируются. ← К тексту

К эпилогу «Кто поставит следующий опыт»

К началу раздела

[1] Peacock N. J., Robinson D. C., Forrest M. J., Wilcock P. D., Sannikov V. V. Measurement of the Electron Temperature by Thomson Scattering in Tokamak T3. Nature. 1969. Vol. 224. P. 488–490. DOI: 10.1038/224488a0. Сведения о публикации и диапазоне электронной температуры. Перевод 1 кэВ в температурную шкалу: приблизительно 11,6 млн К; при указанном округлении численное значение в °С то же. <https://www.nature.com/articles/224488a0>

[2] UK Atomic Energy Authority. Our history. Разделы о проверке Т-3 в 1969 году и проектировании/пуске JET в 1973–1983 годах. <https://www.ukaea.org/about-ukaea/history/> ← К тексту

[3] Лаборатория нейтронной физики ОИЯИ. История ЛНФ: история реакторов. Идея 1955, пуски ИБР 1960 и ИБР-30 10.06.1969, начало официальной эксплуатации ИБР-2 в апреле 1984. Последнее отделено от физического пуска 1978. <https://flnph-old.jinr.ru/ru/history/history-of-reactors> ← К тексту

[4] Рогачёв Ю. В. Четыре поколения вычислительных машин М. А. Карцева (М-4, М4-2М, М-10, М-13). Материалы SORUCOM2006. Публикация 30.01.2008; также воспоминания автора «ЭВМ М-13». https://www.computer-museum.ru/histussr/m4_m13.htm <https://www.computer-museum.ru/books/m1-m13/m13.htm> ← К тексту

[5] Royal Swedish Academy of Sciences / NobelPrize.org. Advanced information on the Nobel Prize in Physics 2000; The Nobel Prize in Physics 2000 — Summary. Эксперимент 1970 и присуждение премии 2000. Премия отмечала развитие гетероструктур; она не сведена к единственному эксперименту. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2000.pdf> <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2000/summary/> ← К тексту

Об издании

Александра Венглинская. Моя Супердержава. Как СССР создавал научную и технологическую мощь. Проект «Историческая Россия». Издание FINAL, редакция 1.1. 12 октября 2026 года.

«Историческая Россия» — история страны через людей, документы и сделанную работу. В этой книге — научные школы, инженерные решения и промышленное освоение.

Обложка и портрет Льва Ландау предоставлены автором. Схемы поясняют изложенные принципы.

Библиографические сведения, источники сцен и примечания собраны в приложении 7. В электронном PDF работают оглавление, закладки и переходы к примечаниям. Нумерация примечаний самостоятельна в каждом разделе.

Формат 160 × 240 мм. Основной шрифт DejaVu Serif; заголовки и навигация DejaVu Sans. ISBN не присвоен.