

НАУЧНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ: ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

С. Г. КАРА-МУРЗА, НГУЕН ШИ ЛОК (СРВ)

Значительное число науковедческих исследований посвящено материально-технической базе науки, оценке ее состояния и улучшению использования. Практика, однако, показывает, что для целей управления ограниченную ценность представляет анализ технической оснащенности, взятой изолированно, в отрыве от факторов, определяющих характер связи исследователей с орудиями их труда. Технические средства должны рассматриваться в системном контексте, как элемент более широкой целостной системы — технологии научных исследований¹. Важным элементом этой системы является организация использования технических средств. Оба эти элемента тесно связаны.

Конечно, характер организации не является жестко детерминированным в зависимости от характеристик технической базы, но последние накладывают ограничения на выбор альтернатив организации, определяют доминирующую тенденцию. Чтобы понять эту тенденцию, необходимо рассмотреть взаимоотношения между характером технических средств исследования и организацией в их историческом развитии. Но при этом невозможно ограничиться абстрактной моделью, отвлекаясь от изменений в структуре научного знания и в общей организации науки. Введем эти два фактора в наше рассмотрение, начав его с того периода, когда сложились основные типы организации научных коллективов (лаборатории) и основные типы научных учреждений (институты)². Это — первые десятилетия XX в., которые в развитых в научном отношении странах стали и периодом формирования основ научной сети.

Первые десятилетия XX в. — преддверие современной научно-технической революции. Это время дальнейшей институционализации научных дисциплин и возникновения новых дисциплин, а также их «зародышей» — новых научных направлений. Этому способствовал быстрый рост числа лабораторий и институтов. Хотя многие лаборатории, особенно отраслевого характера, имели отчетливо выраженную предметную, проблемную направленность, в научном отношении они тяготели к определенной дисциплине, а помощь специалистов других дисциплин была своего рода услугами³.

Новая техника эксперимента, научный метод очень часто были той основой, на которой формировалось новое направление в науке, происходило его отделение от материнской дисциплины (И. П. Павлов писал: «Нашей первой задачей была разработка методики»). Революция в естествознании начала XX в., бурное развитие физики не только вооружили

¹ Кара-Мурза С. Г. Технология научных исследований как объект науковедческого анализа. — «Вестник АН СССР», 1979, № 1, с. 44—52.

² Названия «институт» и «лаборатория» здесь носят условный характер и выражают лишь ту мысль, что основной ячейкой научной сети является довольно крупная организация, объединяющая несколько первичных коллективов, оформленных как ее подразделения.

³ Синтетический каучук был создан в 1929 г. под руководством профессора С. В. Лебедева, группа которого состояла из 8 химиков. Сейчас исследовательская группа, ведущая разработку нового каучука, включает, как правило, представителей 13 научных специальностей.

ученых многих областей новыми представлениями о структуре материи, но и создали новые методы ее исследования. Техническую базу для этих методов обеспечил быстрый прогресс электротехники, оптики, механики.

В первые десятилетия XX в. создаются методы, заложившие фундамент технологии исследований для большинства современных дисциплин. Назовем лишь некоторые в качестве иллюстрации: спектральный и рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия, ультрацентрифуга, счетчики радиоактивного излучения и радиоактивные изотопы как «меченые атомы», электрохимические методы (полярография), хроматография и электрофорез, техника высокого вакуума.

Естественно, что новые приборы строились под руководством и при личном участии ученых. Как правило, это были уникальные установки, и методики их использования были слабо формализованы. Работа на таких приборах также требовала уникальной квалификации и была в большей степени делом искусства. Прибор и способный работать с ним ученый образуют тот центр тяжести, вокруг которого складывается определенная научная тематика и к которому тяготеют научные контакты, в том числе и международные.

Небольшие серии приборов производились в университетских и институтских мастерских (впоследствии некоторые такие мастерские превратились в крупные приборостроительные предприятия — например, мастерская Кембриджского университета породила всемирно известную теперь фирму «Uniscam»). Приобретаемые на рынке серийные или сделанные по заказу одиночные приборы поступали непосредственно в научную лабораторию. Комплекс «ученый — прибор» был организационно и пространственно неразделим.

В течение 40—50-х годов ситуация изменилась коренным образом. Хотя процесс дифференциации научного знания и возникновения новых дисциплин продолжался, усилилась тенденция мультидисциплинарного и междисциплинарного подхода к решению научных и технических проблем. В сущности многие из возникших в это время так называемых новых дисциплин являются скорее междисциплинарными областями исследований, чем дисциплинами в классическом смысле слова. Это хорошо иллюстрируется, например, комплексной структурой молекулярной биологии, где физики, химики, биологи и математики не просто помогают друг другу, а взаимодействуют в рамках единой концептуальной системы и лишь через такое взаимодействие создают качественно новый тип исследования.

Широкий перенос методов из одной области науки в другую явился одним из важных механизмов интеграции науки. Системное мышление, характерное для науки в середине XX в., облегчило структурирование исследовательских задач таким образом, что в самых разных областях стали выявляться элементарные участки работы, требующие одного и того же метода. Напротив, каждая задача стала представляться как комплекс элементарных работ, из которых каждая требовала своего определенного метода. Образовалась как бы огромная матрица задач и методов, в которой дисциплинарные границы оказались в значительной степени стертыми.

Это привело к созданию приборов нового типа, пригодных для проведения определенных измерений на самых разнообразных объектах. Для этого требовалась высокая степень стандартизации во всем, что касалось функции прибора, измерения. Соответственно изменился и тип ученого, непосредственно работающего с прибором. Он стал больше ориентирован на прибор, чем на тот или иной объект, все больше и больше стал превращаться в специалиста по методу. Такое разделение труда не только позволило использовать один и тот же метод для исследования многих объектов, но и резко повысило качество получаемой при помощи прибора информации. Естественно, что это усилило коллективный характер ис-

следований: теперь ученый, ориентированный на предмет исследования, должен вступать в кооперацию со специалистами-методистами. Иногда эта кооперация носит характер совместного исследования, иногда является оказанием технических услуг (когда для методиста предметная сторона дела не представляет большого интереса, а по сложности задача такова, что в ходе ее решения не создается нового методического знания).

Стандартные приборы такого типа стали выпускаться крупными сериями на специализированных предприятиях. Научное приборостроение превратилось в одну из крупных отраслей промышленности во многих странах, и именно 50-е годы стали периодом быстрого роста числа приборостроительных предприятий.

Изменение характера научных приборов и новый этап в разделении труда в науке (появление нового типа специалиста, ориентированного на метод, а не на узкую предметную область) потребовали соответствующих изменений в организации. Стала неоправданной передача прибора во владение одной лаборатории, поскольку его область применения оказывалась гораздо шире области деятельности одного коллектива. В одном и том же приборе становятся заинтересованными многие лаборатории с более или менее различной предметной направленностью. Установка прибора в одной лаборатории затрудняла его использование другими коллективами. Производительность же выпускаемых промышленностью приборов стала, как правило, превышать потребности отдельной лаборатории. Немаловажным фактором было и то, что профессионализация специалистов-методистов (например, спектроскопистов) обусловила их стремление к организационному оформлению их нового статуса в науке, к созданию профессиональных коллективов.

Поэтому в 50-е годы наблюдается переход к новой форме организации использования крупного научного оборудования — к созданию внутри институтов специализированных лабораторий, ориентированных не на предметную область, а на метод. В этих лабораториях устанавливались приборы и концентрировались кадры специалистов, которые эти приборы обслуживали. Такие лаборатории должны были предоставлять остальным лабораториям института услуги в виде специальных измерений или испытаний с помощью того метода, на базе которого они были созданы (в обиходе они так и стали называться — «сервис»-лаборатории). Помимо этого в функции коллективов этих лабораторий входило проведение исследований, направленных на развитие самого метода и сфер его приложения в той предметной области, которую разрабатывал весь институт.

Разумеется, эта организационная форма не ликвидировала все остальные способы использования оборудования в науке. Многие приборы, даже весьма крупные, остались в ведении предметных лабораторий, поскольку часто сам характер работы не допускал географического и организационного удаления прибора. Иногда специфические требования исследования заставляли сужать функциональные возможности прибора, вносить в него конструкционные изменения, соединять с другими приборами и установками и т. д. В других случаях, напротив, стоимость прибора и его технические возможности были таковы, что уже в 50-е годы такой прибор начинал обслуживать не отдельный институт, а целую сеть научных учреждений (к таким приборам можно было отнести, например, крупные телескопы). Но в основном можно считать, что мощность научных приборов в этот период примерно соответствовала потребности одного-двух десятков лабораторий, объединенных в один институт. **Специализированная лаборатория института** — вот та организационная ячейка, которая в наибольшей степени соответствовала характеру задач и характеру крупных научных приборов в науке первых послевоенных десятилетий.

Но уже в 60-е годы выявилась ограниченность этой организационной формы. Ее недостатки стали видны при взгляде с, казалось бы, диаметрально противоположных точек зрения. С одной стороны, стало очевидным, что предоставление исследователю даже квалифицированных и быстрых услуг специализированной лаборатории не может полностью заменить непосредственного, «живого» взаимодействия с прибором. Научное оборудование не только выполняет чисто технические функции. Возможность лично поработать на приборе, не прибегая к помощи посредника-методиста, стимулирует исследователей к освоению и использованию технических средств.

С другой стороны, уже в 60-е годы стали в широких масштабах создаваться и производиться крупные и высокопроизводительные системы научного оборудования, в большей степени автоматизированного. Хотя их появление резко снизило стоимость единицы получаемой информации, первоначальные затраты на приобретение и установку таких систем, а также текущие расходы на поддержание их в рабочем состоянии были столь велики, что оказались часто непосильными даже для весьма крупных научных учреждений. В то же время производительность таких автоматизированных систем резко возросла по сравнению с приборами предыдущих поколений и стала значительно превышать тот объем работы, который имелся в отдельном институте. Иногда новые приборы просто не могли быть использованы при той загрузке, которая им могла быть обеспечена в рамках одного института⁴.

Объективно необходимым стало возникновение новой формы использования крупных приборов — создание центров коллективного пользования (условно можно назвать их «приборными центрами»). Изменение технических средств снова выступило как фактор, требующий изменения организации.

Возникновение центров коллективного пользования крупными приборами — это новый этап в проявлении той же тенденции, которая привела к выделению централизованной «приборной» лаборатории в институте. Но центр обслуживает уже не ряд лабораторий одного института, а большое число лабораторий разных институтов. Зачатки такой организации существовали, как уже отмечалось, и раньше — именно таким образом использовались крупные, уникальные приборы — ускорители элементарных частиц, телескопы, аэродинамические трубы и т. п. Теперь же, в 60-е и 70-е годы, эта тенденция проникла практически во все области экспериментальной науки, в которых сложились системы дорогого и высокопроизводительного оборудования.

Переход к приобретению «приборного времени» вместо покупки приборов наблюдается во всех развитых в научном отношении странах. За последнее десятилетие в США создано несколько приборных центров, действующих как «общенациональный ресурс». Проводить в них эксперименты и измерения могут исследователи из государственных и частных организаций всех типов из разных областей страны. Представляет интерес та аналитическая работа, которая предшествует принятию решения о создании таких крупных приборных центров в США. Так, в 1974 г. было завершено изучение целесообразности создания национального центра по использованию мощных ЭВМ в химических исследованиях. Оно проводилось в течение двух лет бригадой из 50 специалистов, организованной Национальным научным фондом и Национальной академией наук. В докладе комиссии, который широко обсуждался научной общественностью, было показано, что ни одна существующая частная или

⁴ Например, автоматический анализатор элементного состава органических соединений, основанный на газожидкостной хроматографии, должен быть все время включенным, чтобы обеспечить высокую точность анализа (после каждого перерыва в работе требуется сложная настройка). Бывали случаи, когда институты, приобретающие такой прибор, выключали его и возвращались к старым ручным методам — работа анализатора входила слишком дорого, а загрузить его химики одного института не могли.

государственная организация в США не в состоянии приобрести и эффективно использовать оборудование, которое предполагалось сосредоточить в национальном центре. Создание такого центра было гораздо более предпочтительным, чем использование новых средств для усиления уже имеющихся лабораторий. Была определена необходимая для центра «критическая масса» ресурсов и представлен подробный проект бюджета, кадрового состава и организации работы этого учреждения⁵. В 1977 г. такой центр был создан⁶. В последующие годы Национальный научный фонд финансировал создание еще нескольких национальных и региональных приборных центров для разных областей науки.

В США широко развито и частное предпринимательство в обслуживании исследовательских организаций — проведение измерений по заказам, сдача в аренду приборов и приборного времени. И хотя цены на такое обслуживание весьма высоки, оно выгодно для многих потребителей, и этот рынок расширяется (в 1974 г. общий объем аренды научных приборов в США составил 600 млн. долл., а к 1984 г. ожидается рост более чем в полтора раза).

Целый ряд приборных центров действует в Великобритании (например, прекрасно оборудованный центр физико-химических измерений в Харуэлле) и Франции (Региональный центр физических измерений при университете Ренна и др.). Все чаще такие центры предоставляют обслуживание и зарубежным организациям.

Богатый опыт в развитии новых форм коллективного использования научного оборудования накоплен и в социалистических странах. Важный шаг в этом направлении был сделан в ГДР, где в рамках Академии наук было создано четыре крупных специализированных приборных центра⁷. Практика показала высокую эффективность организаций этого типа, и опыт получил дальнейшее распространение.

В СССР уже пять лет успешно действует Центр автоматизированных спектроскопических измерений, созданный в АН БССР⁸. Он позволил резко улучшить обеспечение исследовательских организаций (независимо от их ведомственной подчиненности) современной техникой эксперимента. На более широкой основе создается приборный центр в АН Молдавской ССР. Важное значение приобрела деятельность приборного центра в СО АН СССР, не только проводящего спектроскопические измерения, но и создавшего на базе ЭВМ крупную информационно-поисковую систему спектроскопических данных⁹.

Влияние новой технологии исследований на организацию науки прослеживается на всех уровнях — от индивидуального исследователя до государственной сети научных учреждений. Центры коллективного пользования приборами и оборудованием становятся все более важными узлами такой сети, являются средоточиями научных коммуникаций. Здесь эти коммуникации ориентированы на метод, благодаря чему пересекаются барьеры, существующие между научными дисциплинами, между фундаментальными и прикладными исследованиями.

Важно отметить, что возникновение центров коллективного пользования крупными приборами сопровождалось параллельной тенденцией к

⁵ Spindel W., Paul M. A. Planning the Proposed National Resource for Computation in Chemistry.— «J. Chem. Information and Computer Sciences», 1975, v. 15, № 3, p. 137—139.

⁶ Funding for chemistry computation center.— «Physics Today», 1978, v. 31, № 1, p. 103.

⁷ Faulstich H. Tendenzen in der Entwicklung der methodisch-experimentellen Basis der Grundlagenforschung.— «Probleme der Analyse und Gestaltung des sozialistischen Forschungspotentials». Berlin, 1975, S. 33—47.

⁸ Степанов Б. И. Центры коллективного пользования научным оборудованием.— «Вестник АН СССР», 1978, № 3, с. 27—31.

⁹ Ульянов Г. П., Маслов А. Р., Дерендяев Б. Г., Пиоттух-Пелецкий В. Н., Коптюг В. А. ЭВМ и решение аналитических задач органической химии.— «Вестник АН СССР», 1978, № 3, с. 32—44.

возвращению приборов непосредственно в исследовательскую лабораторию, к восстановлению прямых контактов «исследователь — прибор». Об объективной необходимости таких контактов говорилось выше. Эта необходимость вступала в противоречие с экономической и научно-технической целесообразностью создания мощных автоматизированных систем приборов. На современном уровне развития приборостроения это противоречие было решено тем, что возникло два направления в разработке приборов: создавались приборы с высокими техническими возможностями (разрешающей способностью, точностью, производительностью) и наряду с ними — основанные на том же принципе действия, но малогабаритные, простые и дешевые приборы. Оборудование первого типа предназначается для использования в крупных специализированных лабораториях и приборных центрах, оборудование второго типа поступает непосредственно на рабочий стол исследователя. С его помощью он может быстро и несложно проводить предварительные, прикидочные измерения, не требующие высокой точности (и так удовлетворяет, пожалуй, большую часть своих потребностей в измерении). Следует подчеркнуть, что миниатюрные дешевые приборы — это не снижение технического уровня приборостроения. Напротив, их создание и широкое распространение стали возможны лишь на базе современных достижений электроники и электротехники. Они столь же совершенны, как и крупные автоматизированные комбайны, и именно благодаря современному состоянию научно-технического прогресса в приборостроении удалось вновь дать непосредственно в руки исследователю приборы для решения части его научных задач. В том, что компактные дешевые приборы стали важной продукцией ведущих приборостроительных фирм наряду с наиболее точными производительными приборами, легко убедиться при анализе каталогов оборудования и при посещении выставок научного оборудования (исключительно показательной в этом отношении была проведенная в 1978 г. в Москве международная выставка «Наука-78»).

Из сказанного выше вытекает, что развитие техники научного эксперимента, которое определяется как объективными потребностями развивающегося научного знания, так и техническими возможностями приборостроения, является наиболее динамичным элементом в технологии исследований. Обеспечение простора для использования прогрессивной технологии исследований — важнейший фактор повышения эффективности научного труда, особенно в условиях интенсивного развития науки. Для создания условий максимального использования возможностей современной технологии исследований (а иногда и самой возможности ее использования) необходимы соответствующие изменения в организации взаимодействия исследователей и материально-технической базы. Однако в тех случаях, когда речь идет о становлении научного потенциала (например, в новом регионе или в целой стране), нет необходимости проходить все этапы. Более правильным является системное рассмотрение всех имеющих элементов научного потенциала, предметной структуры ведущихся и перспективных исследований, географического распределения сети научных учреждений, а также технических и экономических характеристик выпускаемых сейчас и прогнозируемых научных приборов. Именно на базе такого анализа можно определить целесообразное соотношение различных альтернатив организации использования научного оборудования, выбрать тот путь, который при реально существующих ресурсных возможностях обеспечит необходимый технологический уровень приоритетных исследований и максимально возможный уровень остальных работ.