

О, чудо: Интернет, который построила BBN

Эрик Гиллиам

Многие из нас слышали, что «DARPA изобрела Интернет». Но мало кто знает о компании BBN, подрядчике, внёшем наибольший вклад в создание ARPAnet. Эта статья познакомит вас с историей и уникальной организацией компании BBN. То, что именно BBN выиграла основной контракт на проект ARPAnet, стало одной из ключевых причин успешной реализации проекта. BBN олицетворяла золотую середину между академией и коммерческим миром. Её модель управления стала идеальным ориентиром для тех, кто ищет способы эффективно организовать исследовательские проекты в рамках фирмы. С такой структурой, как у BBN, многие сложные проекты становятся возможными. Ну а теперь к делу.

Введение

У DARPA нет лабораторий, исследовательских центров или штатных учёных, занимающихся наукой. Вместо всего этого у неё есть подрядчики. DARPA использует экосистему подрядчиков для реализации любых идей, которые решит профинансировать её офис. В этой статье рассказана история, пожалуй, самого известного её проекта с точки зрения менеджеров проектов (PM) и директоров офисов DARPA. Это самый правильный взгляд на вещи, поскольку именно менеджеры проектов либо офисные директора обычно несут ответственность за продвижение проектов. Проекты выбираются, финансируются и координируются офисом DARPA, но идеи полностью реализуются подрядчиками.

Во многих случаях тот факт, кто именно выиграет контракт, может оказать лишь умеренное влияние на экономическую эффективность, скорость выполнения и общие результаты проекта. В таких ситуациях подрядчику – будь то университетская исследовательская лаборатория, частная компания или некоммерческий институт вроде RAND (research and development – исследования и разработки, американская некоммерческая исследовательская организация) – бывает сложно доказать, что он действительно является лучшим из лучших. С другой стороны, бывают случаи, когда многие компании вообще не подают заявки на контракт, потому что считают исходные спецификации проекта заведомо невыполнимыми. В таких случаях, чтобы справиться с задачей, необходим высокий уровень мастерства и решимость. Именно в эту категорию попал знаменитый проект ARPAnet. Как известно большин-

ству читателей, ARPAnet стал предшественником Интернета. Именно в качестве главного подрядчика этого проекта исследовательская фирма, основанная преподавателями MIT (Массачусетский технологический институт), Bolt, Beranek, & Newman (BBN), навсегда вписала своё имя в историю.

Немного о BBN

Звёздные результаты BBN в проекте ARPAnet не стали неожиданностью для многих в сообществе вычислительной техники, поскольку в конце 1960-х годов компания уже была признана особенной. Это был уникальный вид исследовательской фирмы, который в наше время встречается не так часто. Сотрудники BBN были неотъемлемой частью элитного исследовательского сообщества Кембриджа, штат Массачусетс, несмотря на статус фирмы как коммерческой организации. Компания привлекала лучших исследователей-теоретиков из Кембриджа – бывших профессоров Гарварда и MIT – а также первоклассных инженеров, которые часто переходили из крупных вычислительных проектов при Лаборатории Линкольна MIT.

Многие из них переходили в BBN потому, что считали, что именно здесь можно решать большие проблемы более интересными способами, чем в Лаборатории Линкольна. Теоретики, вроде Роберта Кана, считали, что это отличное место для проведения серьёзных исследований в прикладном контексте. Великие инженеры, которые меньше интересовались теорией, например ведущий инженер проекта Фрэнк Херт, находили здесь идеальную структуру для работы над реализацией реальных технологий, имевших высокий уровень новизны.

BBN была компанией, в первые десятилетия своего существования находившей способы получать прибыль и расти значительными темпами – по 26% ежегодного роста. Однако фирма прилагала усилия и для того, чтобы её сотрудники были довольны своей работой: компания стремилась решать интересные проблемы только при условии, что могла покрыть затраты и зарплаты проекта с помощью какого-либо финансирования.

Роберт Кан и Дж.С.Р. Ликлайдер – два известных имени, которые на какое-то время стали частью BBN. Как руководитель IPTO (Information Processing Techniques Office) и известная фигура в сообществе исследователей вычислительных систем своего времени, Кан имел глубокое понимание того, что происходило в каждом важном исследовательском центре по компьютерным вычислениям в мире. Поэтому его похвала фирме BBN в этот период имеет особое значение:

«BBN была своего рода гибридом Гарварда и MIT в том смысле, что большинство людей там были либо действующими, либо бывшими преподавателями этих университетов. Если вы когда-либо бывали в этих местах, то вы представляете, насколько уникальной организацией была BBN. Многие студенты из этих университетов также проводили время в BBN. Это был своего рода суперзаряженный союз преподавателей и учеников, но без необходимости беспокоиться о классах и преподавании. Вы могли просто сосредоточиться на исследованиях. Это было как превосходный коньяк в исследовательском бизнесе. Миссия BBN в то время заключалась в том, чтобы делать интересные вещи и двигаться к следующей интересной вещи. Тогда было больше стимулов придумывать интересные идеи и исследовать их, чем пытаться капитализировать их после того, как они были разработаны».

Как мы увидим далее, некоторые в фирме всё же пытались использовать большие идеи в коммерческих целях. Однако не это было основной целью компании.

С юридической точки зрения в первые десятилетия BBN была организована как партнёрство – аналогично юридической

фирме, прежде чем стать публичной в 1966 году. Команды в BBN не были постоянными. Людей часто набирали потому, что они считались способными внести вклад в предстоящий проект или просто повысить средний уровень компетенции фирмы.

Культура компании больше напоминала университетскую лабораторию, чем традиционную фирму вроде Honeywell. Если талантливый исследователь находил интересную и перспективную область для исследования, компания старалась найти средства для этого исследования. Например, так было с молодым Дж.С.Р. Ликлайдером, который стремился исследовать мир интерактивных персональных вычислений на очень дорогой машине. Болт и Беранек не сказали «нет». Напротив, они сказали «да», купили машину и нашли способ профинансировать проект через грант Фонда Форда. Объёмистый исследовательский отчёт, позже ставший книгой, «Библиотеки будущего» Ликлайдера и других сотрудников BBN, был гораздо большим, чем кажется на первый взгляд. Это был не просто прогностический анализ того, как могут выглядеть цифровые библиотеки для некоммерческих организаций, исследующих информацию. В отчёте содержалась значительная часть ранних технических исследований, которые стали наследием Ликлайдера.

Помимо того что BBN полностью приняла на себя роль исследовательской фирмы, её структура, как «фирмы», позволяла выполнять большие, сложные проекты вроде ARPAnet, которые не подходили для чисто академической лаборатории. Опыт фирмы в области первых вычислительных систем, накопленный благодаря контрактным исследовательским проектам и предшествующему опыту команды в местах вроде Лаборатории Линкольна, позволил продвигать технологии вперёд, используя самофинансирование. Например, в 1960-е годы фирма разработала, реализовала и обслуживала одну из первых коммерческих систем разделения времени для не инженеров. Этот проект дал Массачусетской общей больнице вычислительную систему с разделением времени, которая позволила ей справиться с администрированием пациентов и автоматизировать часть анализа данных в исследованиях.

Проект ARPAnet стал ещё одним примером реализации, идеально подходящим для уникальной структуры и состава

ва BBN. Но, чтобы полностью понять, как фирма стала такой, какой стала, давайте начнём с самого начала, потому что BBN не начиналась как исследовательская фирма в области вычислений. Болт и Беранек не были учёными в области вычислительной техники. Это были профессора акустики, которые, будучи поглощёнными контрактными исследовательскими работами в 1940-е годы, начали ощущать свою перегрузку этим трудом.

Знакомство на почве акустического профиля

BBN начала свою деятельность в стиле, схожем со многими компаниями MIT, возникшими в начале XX века. Команда профессоров и аспирантов активно занималась консультациями и контрактной работой. Со временем и по мере работы «сарафанного радио» спрос на их услуги рос. Некоторое время аренда дополнительной комнаты в лаборатории и найм новых аспирантов были достаточными для удовлетворения растущего спроса, но в конце концов молодой компании пришлось арендовать собственные помещения и нанимать штатных сотрудников.

В случае с BBN её основатели были вовлечены в относительно молодую область психоакустики. После Второй мировой войны Ричард Болт стал директором новой акустической лаборатории в Институте, чтобы продолжить несколько исследовательских направлений, финансируемых в основном Военно-морским флотом США. Свой вклад в контрактные работы компании вносили преподаватели и сотрудники с бэкграундом в области физики, электротехники, архитектуры, машиностроения, аэрокосмической инженерии и психологии. В эти послевоенные годы в лабораторию был приглашён Лео Беранек из лаборатории электроакустики Гарварда, который также получил преподавательскую должность.

С момента запуска Технологического плана MIT в 1920 году Институт активно способствовал заключению исследовательских контрактов с преподавателями. Зарплата профессора в учебный период покрывала только четыре дня работы в неделю, оставляя прочее время свободным для работы над контрактами. Преподаватели могли полностью посвящать своё время контрактной работе, практически не сталкиваясь с бюрократическими препятствиями или необходимостью получения раз-

решений от MIT. В отличие от таких мест, как Гарвард, MIT в этот период поощрял такой двойной образ жизни своих преподавателей. Минимальные объёмы бумажной волокиты с просьбами о разрешениях позволяли преподавателям заниматься заказной работой для промышленности, не отвлекаясь на административные сложности. Таким образом, они не только следили за последними тенденциями в отрасли, но и решали проблемы промышленности, знакомили своих студентов с современными веяниями и одновременно приносили деньги в институт.

В период расцвета этой схемы MIT регулярно получал запросы от промышленности на помощь в решении различных проблем, в том числе и в области акустики. Когда приходили запросы по акустике, они направлялись к Ричарду Болту. В 1946 году один из таких запросов поступил от архитектурной фирмы, которая занималась строительством штаб-квартиры ООН в Нью-Йорке. Болт подал заявку и выиграл контракт. В 1948 году пришли чертежи, и фирма запросила начало акустического консультирования. Увидев масштаб проекта, Болт понял, что это работа не для одного человека. Он предложил Лео Беранеку присоединиться и работать над проектом в команде. Оба оформили партнёрство, так и появилась фирма Bolt & Beranek.

По этому первому контракту Болт и Роберт Ньюман (который вскоре по окончании учёбы стал партнёром) – один из четырёх аспирантов, нанятых под проект, – занимались разработкой акустических решений для здания ООН. Беранек взял на себя более сложную задачу проектирования звуковой системы и выбора оборудования для нестандартного здания. Несмотря на трудности, проект имел большой публичный успех. Беранек писал, что имя фирмы стало известно архитекторам по всему миру, и бизнес пошёл в гору.

До этого времени офис фирмы располагался в комнате в Акустической лаборатории MIT. Как описывал Беранек:

«Фирма Bolt & Beranek имела поддержку нового президента MIT, Джеймса Киллиана. Он предложил нам помочь начать работу и арендовал два помещения в Акустической лаборатории MIT, но предупредил, что если нам потребуется больше места, мы должны будем искать его сами вне MIT».

К концу первого года работы офис уже был переполнен оборудованием, закупленным для обслуживания растущего

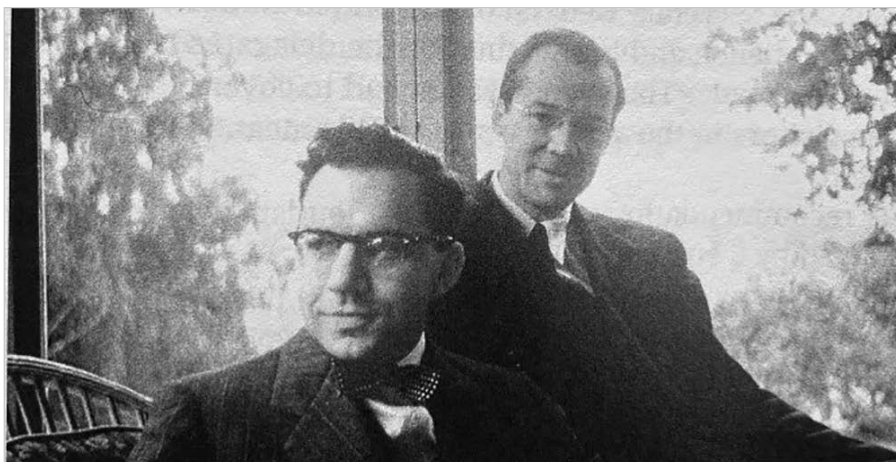


Рис. 1. Лео Беранек (слева) и Ричард Болт (справа). Фото из архива Лео Беранека

числа контрактов. Это заставило молодую фирму в конце 1949 года перебраться на новый адрес в Кембридже. Но постепенно растущей компании вскоре опять стало не хватать места, в 1951 году фирма вновь переехала, заняв два помещения и подвал в жилом здании на улице Элиот. К 1956 году ориентированная на акустику компания уже насчитывала 50 штатных сотрудников, многие из которых были бывшими аспирантами Кембриджа, а также открыла дополнительный офис в Лос-Анджелесе, считавшемся центром архитектурной мысли. Всё это удалось «проверить» без внешнего финансирования, если не считать кредитной линии в местном банке.

В этот период к партнёрству присоединились два других аспиранта, Джордан Барух и Самуэль Лабате, которые впоследствии работали в фирме многие годы и также защитили дипломные работы в областях, связанных с деятельностью компании. Кроме того, в 1953 году BBN была перерегистрирована как корпорация, чтобы защитить себя от возможных юридических последствий, связанных с растущей частью бизнеса по контролю за шумом от самолётов. Национальный консультативный комитет по аэронавтике и компании, производившие реактивные двигатели, привлекали фирму для решения проблем, связанных с проектированием конструкций для минимизации шума при испытаниях двигателей. Результаты этих проектов имели множество практических применений и при этом затрагивали передовые области акустики, профессионально волновавшие исследователей. Задачи такого рода приветствовали также участие психологов, поскольку в таких проектах, как уменьшение шума или проектиро-

вание концертных залов, часто важным моментом была не только физическая громкость звука, но и субъективное восприятие этого шума.

Всё это происходило на фоне того, что Беранек постепенно снижал свою преподавательскую нагрузку в MIT – до 75% в 1951 году, 50% в 1953 году и так далее. В 1958 году он ушёл с должности профессора с постоянным контрактом. Работы стало поступать всё больше – от государственных контрактов, частных компаний и исследовательских грантов. По мере роста бизнеса MIT и Гарвард стали предоставлять фирме множество аспирантов для работы. Иногда людей нанимали, потому что их знания были крайне необходимы, а в других случаях фирма просто видела талантливо-го человека и находила для него место.

По мере роста бизнеса, как по размеру, так и по масштабам, Беранек решил сосредоточиться на создании сильной базы в области вычислений (рис. 1). Ещё во время войны Беранек заметил, что многие работы его лаборатории, как в Гарварде, так и в партнёрской лаборатории по психоакустике, были связаны с задачами обработки информации на военных кораблях. BBN уже использовала психологические данные в акустике, например, решая проблемы восприятия шума пилотами в кабинах. Расширение деятельности в область человеко-машинных систем показалось логичным шагом. Для Беранека это было захватывающее направление с потенциалом для приложения усилий.

Вхождение BBN в бизнес вычислений

Кредо Беранека при найме сотрудников в компанию было таким: «Каждый новый человек, которого мы нанимаем, должен повышать средний уровень

компетенции фирмы». В своей основе это была исследовательская фирма, и при подборе персонала Беранек считал важным, чтобы нанимались только те, кто был компетентнее его самого. С его интересом теперь и к вычислениям у него, казалось, был только один человек на примете, чтобы возглавить усилия компании в этом направлении: Дж.С.Р. Ликлайдер.

Во время войны Ликлайдер был молодым исследователем в Психоакустической лаборатории Гарварда. Беранек был настолько впечатлён им, что вскоре после своего приглашения в MIT он настоял на том, чтобы и Ликлайдер был трудоустроен там. Теперь же он собирался убедить Ликлайдера отказаться от его должности профессора MIT и присоединиться к BBN. С обещанием щедрых опционов на акции, пониманием того, что компания занимается передовыми исследованиями, и титулом «вице-президент по человеко-машинным и информационным системам» в 1957 году Ликлайдер присоединился к компании.

Один из коллег Ликлайдера сказал о его переходе, что «*в то время он был очарован компьютерами и считал, что может лучше всего заниматься этими интересами именно в BBN*». Впоследствии Ликлайдер привлёк к сотрудничеству с BBN многих своих бывших друзей и коллег из аспирантуры, факультетов MIT и других мест своих академических путешествий. После перехода в компанию некоторые из них продолжили свою работу по заранее выигранным исследовательским контрактам, оплачивающим их услуги. Некоторые были вовлечены в регулярные операции BBN, другие нашли контракты для выполнения необычных задач, таких как написание учебников с использованием уникального оборудования компании.

Но прежде чем началось это «коллекционирование сотрудников», Ликлайдер был единственным из MIT, кто присоединился к компании. Руководством BBN ещё не был утверждён формальный план, а Ликлайдер уже начал действовать. Беранек описывает его первые месяцы в компании так:

«*Лик, он настоял, чтобы мы называли его так, был общительным и всегда на грани улыбки; он заканчивал почти каждое второе предложение лёгким смехом, как будто только что сказал что-то смешное. Он ходил мягким шагом, часто с бутылкой Coca-Cola в руке, и всегда находил время, чтобы выслушать новые идеи. Лик легко впи-*

PDP-1 (Programmed Data Processor-1) – это один из первых компьютеров семейства PDP, разработанных компанией DEC в 1960 году. PDP-1 был значительным шагом в развитии вычислительной техники и оказал важное влияние на будущее развитие компьютеров, включая создание персональных компьютеров и развитие Интернета. У PDP-1 был 18-битный процессор, что было нетипичным для большинства компьютеров того времени, которые чаще использовали 24 или 36 бит. Память объёмом до 4 Кбайт с использованием магнитных сердечников была очень приличной для того времени. Как одна из первых коммерчески доступных машин с возможностью интерактивного программирования, PDP-1 сыграл ключевую роль в развитии технологий, которые позже нашли своё применение в ARPAnet и Интернете. Один из известных примеров – это использование PDP-1 для создания первой компьютерной игры «Spacewar!» в 1962 году, которая стала одной из первых видеоигр и стала популярной среди программистов, а затем повлияла на развитие индустрии видеоигр. На PDP-1 были созданы первые операционные системы и языки программирования, которые стали основой для более сложных вычислительных платформ. PDP-1 был популярен в научных и исследовательских учреждениях для решения различных задач, включая математические вычисления, управление данными и исследования в области физики и инженерии.

сался в уже существующее талантливое сообщество BBN. Мы с ним хорошо работали вместе: я не помню случая, когда бы мы были не согласны друг с другом».

Ликлайдер проработал в фирме всего несколько месяцев, когда осенью 1957 года сообщил Беранеку, что хочет, чтобы BBN купила цифровой компьютер для его группы. Когда Беранек напомнил, что у них уже есть перфокарточный компьютер в финансовом отделе и несколько аналоговых машин в группе экспериментальной психологии, Ликлайдер ответил, что эти машины его не интересуют. Он мечтал о современной цифровой машине, произведённой компанией Royal McBee, дочерним предприятием Royal Typewriter.

– Сколько это будет стоить? – спросил Беранек.

– Около \$30 000, – спокойно ответил Ликлайдер, добавив, что это уже со скидкой, о которой он договорился.

– BBN никогда не тратила такую сумму на одну единицу исследовательского оборудования. Что ты с ним будешь делать? – воскликнул Беранек.

– Не знаю, – ответил Лик. – Но если BBN собирается стать важной компанией в будущем, она должна начать работать с компьютерами.

Хотя Беранек сомневался изначально: \$30 000 за компьютер, который пока не имел явного применения, казалось слишком рискованным шагом – он сильно доверял убеждениям Ликлайдера и в конечном итоге согласился, что BBN должна рискнуть этими средствами. Он представил запрос Лабате и Баруху, и с их одобрения Ликлайдер перевёл BBN в цифровую эпоху. Ликлайдер проводил за этим компьютером много часов каждый день, буквально монополизировав машину. Он увлёкся программированием.

Этот поворот событий, вероятно, не был сюрпризом для Беранека. Ликлайдер был глубоко вовлечён в работу с компьютерами в MIT через его связи с

проектами вычислений Лаборатории Линкольна, а также через взаимодействие с Уэсом Кларком и другими гуру на заре компьютерной эры. Именно в MIT Ликлайдер, будучи технически ориентированным психологом, стал пропагандировать работу, которую мы сегодня отнесли бы к категории взаимодействия человека с компьютером. Но Ликлайдер обошёлся дороже, чем Беранек ожидал вначале. Объёмы контрактов и экспертизы в области вычислений в BBN постепенно росли, и через два года после покупки первой машины Ликлайдер «раскрутил» фирму на приобретение у компании Digital Equipment Corporation первой PDP-1.

После описания покупки Royal McBee в своей главе из «Культуры инноваций» – внутренней истории BBN, написанной бывшими сотрудниками компании, – Беранек описал следующий шаг:

«Затем Лик и я отправились в Вашингтон, чтобы искать исследовательские контракты, которые позволили бы использовать эту машину, цена которой составила \$150 000 (~\$1,5 миллиона сегодня). Наши визиты в Министерство образования, Национальные институты здравоохранения, Национальный научный фонд, NASA и Министерство обороны подтвердили правильность взглядов Лика, и вскоре мы заключили несколько важных контрактов».

Когда речь шла о талантливых исследователях и инженерных кадрах, инстинкты BBN как исследовательской фирмы часто оказывались правильными. Компания была коммерческой фирмой и поэтому не любила тратить деньги на работу без отдачи, но если талантливая группа исследователей и инженеров считала область исследований многообещающей, BBN могла вложить в это деньги, если только руководство считало, что компания сможет вернуть эти деньги впоследствии.

Случай с покупкой PDP-1 был более рискованным шагом, чем обычно пред-

принимала компания. Но риск быстро оправдался, так как BBN быстро заключила контракты с правительством в таких областях, как человеко-машинные интерфейсы и компьютерное обучение. Однако главный грант, подержавший работу Ликлайдера с компьютерами в компании, не был государственным. Это был грант, оказавшийся достаточно футуристичным, чтобы поддержать грандиозные амбиции Ликлайдера, и поступил он от неожиданного грантодателя (рис. 2).

Библиотеки будущего

Совет по библиотечным ресурсам был создан Фондом Форда для исследования «библиотек будущего». Фонд Форда был своего рода аналогом современного Фонда Билла и Мелинды Гейтс, финансирующего широкий спектр инициатив. В частности, контракт по «библиотекам будущего» стал следствием растущей «проблемы информации», о которой активно говорили в исследовательском сообществе в 1960-х годах. Проблема заключалась в том, что работ публиковалось гораздо больше, чем любой исследователь физически мог бы использовать. Ликлайдер и BBN были приглашены для исследования того, может ли современная вычислительная техника как-то помочь решить эту проблему.

Контракты, подобные этому двухлетнему, не стали основным источником дохода для BBN. Однако такие проекты – или проекты, как тот, где NASA заплатило компании за исследования и создание учебника, – позволили BBN финансово поддержать исследования, которые её сотрудники уже хотели провести.

Выходя за рамки того, что Совет по библиотечным ресурсам, вероятно, ожидал, команда Ликлайдера использовала этот контракт как повод для исследования технологий завтрашнего дня. Например, Ликлайдер и его команда посвятили большую часть второй



Рис. 2. Джей Си Р. Ликлайдер (и его фирменная улыбка) со своей женой Луизой. Фото любезно предоставлено из личной коллекции Лео Беранека

половины отчёта техническим исследованиям, предполагая, что будущие посетители библиотек могли бы взаимодействовать с библиотекой как с хранилищем знаний, оснащённым интерфейсом для вопросов и ответов, а не просто как с местом для выдачи книг.

Проект явно помог компенсировать расходы на различные исследования сотрудников BBN. Ниже сотрудник BBN Джон Суэтс описывает задачу, над которой работал Фишер Блэк – математик, известный благодаря модели Блэка-Шоулза:

«Фишер Блэк, аспирант по математике в Гарварде и сотрудник BBN, создал серию систем вопросов и ответов, использующих символическую логику и компьютерное программирование, включая одну, в которой вычислительная система впервые решала “задачу аэропорта”, предложенную Джоном Макафи. На основе данных о местоположении человека, транспортных ресурсах и местной географии система отвечала на вопрос, как доехать до аэропорта».

В проекте также принимали участие будущие лауреаты премии Тьюринга Джон Макафи и Марвин Мински, которые работали над проектом «Библиотеки будущего» неполный день (рис. 3).

Другие идеи, зафиксированные в отчёте, включали:

- важность улучшения произвольного доступа для оптимального поиска информации в больших наборах данных – таких, как база научных статей;
- систему вопросов и ответов Блэка, которая успешно использовала исчисление предикатов первого порядка для представления информации;
- несколько прототипов методов индексирования и итеративных методов извлечения информации для поиска научных статей;
- многие качественные аспекты пользовательского опыта ПК, которые стали известными благодаря Ликлайдеру.

Многие идеи в отчёте не были новыми сами по себе. Однако их применение, описанное в нём, представляет собой новаторские, практические достижения, которые не только выполняли обязательства BBN по контракту, но и соответствовали исследовательским амбициям её сотрудников. Отчёт даёт поразительно пророческое представление о том, как персональные компьютеры в конечном итоге организуют знания и будут взаимодействовать с пользователями. Читая этот отчёт, можно легко узнать многие идеи, которые Ликлайдер впоследствии воплотил в реальность в ходе начала революции ПК.

В этот период BBN также работала над более инженерно ориентированными вычислительными проектами. Практический опыт и кадры, приобретённые фирмой в ходе выполнения этих проектов, дали ей необходимый опыт и компетенции, которые понадобились позже для завершения проекта ARPAnet. Возможно, самым важным из таких проектов была работа BBN по разработке малых систем с разделением времени для больниц.

Системы с разделением времени для больниц

Прежде чем заняться собственным бизнесом в 1958 году, Эд Фредкин недолго проработал в Лаборатории Линколь-

на. Чтобы приобрести себе машину Royal McBee, он начал искать контракты, так как у него не было средств на покупку компьютера. Для начала он проконсультировался с друзьями Фрэнком Хертом, который тогда работал в Лаборатории Линкольна, и Томом Мэррилом, недавно ушедшим из Линкольна в BBN, чтобы узнать, есть ли у них клиенты. Мэррил посоветовал Фредкину узнать, заинтересована ли BBN в сотрудничестве с его фирмой. Вскоре Фредкин договорился о встрече с новым директором по вычислениям в BBN, уже знакомым вам Дж.С.Р. Ликлайдером. Встреча закончилась тем, что Ликлайдер предложил Фредкину «прийти работать в BBN». При этом Ликлайдер убедил партнёров купить компьютер Royal McBee как часть соглашения по найму. Таким образом, Фредкин присоединился к растущей команде инженеров по вычислениям Ликлайдера.

Создание вычислительной команды Ликлайдера всё ещё было на стадии становления, как вспоминает Фредкин. Если кто-то произносил слово «компьютер», собеседник отвечал: «Аналоговый или цифровой?», чтобы показать, что хотя бы что-то понимает в вычислениях. По мнению Фредкина, даже Ликлайдер ещё только осваивался в этой сфере. Было ясно, что его амбициозные идеи были фантастическими. Однако, как инженер, Фредкин говорил о нём следующее:

«Я ничем не мог помочь Лику стать хорошим программистом. Он настаивал на том, чтобы быть кодером, и имел замечательные идеи на высоком уровне, но то, что он всегда выбирал для кодирования, для меня не имело смысла. Я пытался несколько раз наставить его, но не мог добиться успеха. Просто в тот момент у него не было склонности к программированию, ни в стиле кода, – ни в тех задачах, которые он выбирал для кодирования».

Короче говоря, по мнению Фредкина, Ликлайдер в то время был скорее «птицей, чем лягушкой»¹. Но Фредкин придерживался высоких стандартов. Ликлайдер называл Фредкина «молодым гением» и говорил, что решение привлечь его для усиления вычислительных усилий компании было оче-

¹ Фримен Дайсон в своей статье о двух типах мыслителей использует метафору, сравнивая математиков с птицами и лягушками. Он пишет: «Некоторые математики – это птицы, другие – лягушки. Птицы высоко парят в небесах и исследуют абстрактные области математики, которые находятся далеко за пределами известных горизонтов. Их увлекают концепции, способные объединить и упростить множество различных проблем. Лягушки, напротив, обитают в болотах и концентрируются на ближайших деталях, на цветах, растущих прямо перед ними. Они черпают вдохновение из конкретных объектов и решают одну задачу за раз».

видным. Ликлайдер вспоминал: «Он переживал множество психологических проблем по поводу выполнения работы». Поэтому BBN договорилась с Фредкиным о такой форме работы, при которой в конце месяца решалось, какая будет его зарплата за этот месяц. Для Лика это было просто одно из множества «фантастически интересных и гибких соглашений», которые компания заключала с талантливыми сотрудниками.

Фредкин сыграл ключевую роль в убеждении BBN купить первый компьютер PDP-1 и привлечении профессоров Марвина Минского и Джона Макафи в качестве сотрудников на неполный рабочий день. Вскоре после этого Фредкин удивил Макафи, заявив, что, по его мнению, некоторые концепции разделения времени, предложенные Макафи, можно реализовать на достаточно компактной PDP-1. Комбинация инженерных навыков Фредкина и его профессиональных связей из Лаборатории Линкольна помогла продвинуть эту работу. Как вспоминает Макафи:

«Фредкин спроектировал архитектуру системы прерываний и контрольную систему для барабана, чтобы использовать его в очень эффективном режиме обмена данными. Затем он убедил Бена Гурли, главного инженера D.E.C., изготовить это оборудование».

Фредкин и его коллеги внесли несколько технических улучшений, включая изобретение концепции барабана для обмена данными, чтобы доказать, что идеи Макафи можно реализовать на такой маленькой машине. В 1961 году Фредкин покинул фирму, а Макафи взял на себя руководство некоторыми проектами по системам с разделением времени. Однако именно усилия Фредкина сыграли важную роль в начале инженерных усилий BBN в области разделения времени.

Эта ранняя работа по временному разделению в конечном итоге и привела к тому, что BBN была избрана для проведения масштабного исследования по инженерии. Работы начались, когда Джордан Барух, один из партнёров BBN, занимался акустическими исследованиями для Клинического центра НИН (Клинический центр Национального института здравоохранения). Его проект включал разработку приборов для сотрудников-кардиологов и неврологов. Во время своих еженедельных поездок в НИН Барух часто заходил в дом директора Клинического центра, Джека Масура, где они обсуждали различ-

ные темы, включая вычисления в здравоохранении, так как Масура попросили выступить с речью на эту тему. Барух использовал эту возможность, чтобы поделиться своими взглядами на возможности использования компьютеров для обработки медицинских карт пациентов. Масур использовал многие из идей Баруха в своей речи. После того как речь имела успех, Масур позвонил Баруху и сказал: «Ты должен это сделать». Масур порекомендовал Баруху подать заявку на грант от Отдела общей медицины НИН для создания системы. BBN подала заявку и выиграла грант на \$1 миллион (~\$10 миллионов сегодня) сроком на три года.

Контрактное сотрудничество продолжалось в течение нескольких лет, начиная с прототипа для проверки концепции и до создания реальной системы, внедрённой в больнице. Основная цель проекта заключалась в разработке компьютерной системы, которая бы автоматизировала сбор, обработку, хранение и извлечение информации. Работы продолжались, и BBN установила терминалы в Массачусетской общей больнице (MGH), которые были подключены к компьютеру в BBN, использующему систему разделения времени. Первоначальные приложения включали регистрацию пациентов, выписку, заказы на лекарства, заказы на тесты и отчётность по тестам.

По мере развития проекта медицинские профессора в MGH начали использовать систему и для некоторых видов интерактивного (хотя и примитивного) анализа данных для своих медицинских исследований. Сотрудники BBN, со своей стороны, работали с ними над развитием этих возможностей в системе. Как отметил бывший менеджер проекта Пол Кастельман: «На конференции RAND/SDC по передовым системам управления данными в 1965 году система BBN для исследований в больнице была единственной, которая работала в интерактивном режиме, а не в пакетном».

Через четыре года после начала проекта в MGH работа начала медленно сворачиваться. Как технологическое доказательство концепции проект был успешным. Однако оказалось, что развёртывание системы в учебной больнице встретило трудности из-за некоторых (видимо, многочисленных) скептически настроенных профессоров. Вот что вспоминает участник проекта Билл Манн:

«Отношения в MGH колебались от “ужасно интересно” до “это может

убить моих пациентов, уберите это отсюда”, с явным преобладанием последнего».

В середине 1960-х годов, когда Джордан Барух покидал BBN для того, чтобы создать совместное предприятие с GE, основанное на этом проекте под названием Medinet, сама система MGH была передана больнице для эксплуатации. В этот период в BBN пришёл Фрэнк Херт, ставший вице-президентом, отвечающим за управление техническими инженерными проектами, с особым интересом к вычислительным системам в области биологических наук. Херт в свой первый год работы помог BBN возглавить вычислительные усилия в различных областях биомедицинских исследований.

Однако вскоре после прихода Херта стало известно, что Ларри Робертс был приглашён в ARPA для того, чтобы организовать контракт, который был настолько увлекательным инженерным вызовом, что команда BBN просто не могла его пропустить. Херт и несколько других бывших сотрудников Лаборатории Линкольна, пришедших в BBN в этот период, идеально подходили для выполнения этого проекта. У них уже был инструментальный набор, который в то время был уникален в исследовательской экосистеме вычислений, а также глубокий опыт в проектировании и реализации систем реального времени.

Контекст и начало ARPAnet

В команде экспертов по вычислениям, подобранной BBN, были несколько специалистов из небольшой общи-

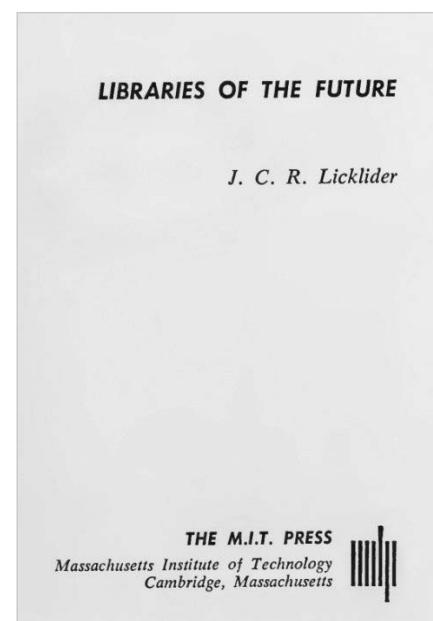


Рис. 3. Отчёт «Библиотеки будущего»

ны, специализирующейся на системах реального времени. В одном из своих устных интервью Фрэнк Херт объяснил, почему так мало людей в вычислительном сообществе имели опыт работы с реальным временем:

«Знаете, в тот период компьютерный мир был действительно разделён на тех, кто понимал системы реального времени, и тех, кто их не понимал. Были люди, которые строили компьютерные системы, используя операционные системы, а были и те, кто разрабатывал очень точно настроенные программы на машинном языке для работы с телефонными линиями. И эти два лагеря не сильно пересекались. Поэтому мир не был полон людей, которые умели заставить компьютеры работать в реальном времени и были способны подключить их к реальным системам. Мы не были единственной группой, но это была довольно маленькая вселенная».

Создание компьютеров, работающих через коммуникационные линии, было непростой задачей. Ларри Робертс, PM IPTO (Project Manager Information Processing Techniques Office – Руководитель проекта Отдела технологий обработки информации), который курировал проект ARPAnet, столкнулся с трудностями реализации этой технологии ещё в Лаборатории Линкольна. В своей последней фазе исследований в Лаборатории Линкольна, перед тем как присоединиться к ARPA, Робертс пытался очертить открытые проблемы в области компьютерных коммуникаций, стоявшие на пути достижения практической связи между компьютерами. Как вспоминал Робертс, результаты его работы с Томом Мэррилом показали:

«Компьютеры могли работать друг с другом, это мы выяснили, но нам никак не удавалось наладить связь между ними».

Проблема межкомпьютерных сетей была основной задачей, для решения которой Робертс был приглашён в ARPA директором IPTO Робертом Тейлором. Робертс, который сначала отклонил предложение Тейлора, так как наслаждался жизнью исследователя в Лаборатории Линкольна, в конце концов был уговорён сотрудниками Линкольна. В начале 1966 года он отклонил предложение Тейлора, но, не найдя кандидата, который мог бы заменить Робертса, Тейлор задействовал «план Б». Тогда директор ARPA Чарльз Херцфельд по просьбе Тейлора позвонил директору Лаборатории Линкольна, чтобы напомнить, что

ARPA является источником 51% финансирования Линкольна. Херцфельд снова подчеркнул, как сильно они хотят привлечь Робертса. Робертс наконец согласился. Тейлор говорил об этом: *«Я шансажом направил Ларри Робертса на путь к славе!»*

Этот общий настрой, в сочетании с открытостью BBN к интересным исследовательским задачам при наличии соответствующего финансирования, частично объясняет, почему фирма была так успешна в привлечении сотрудников Лаборатории Линкольна.

Готовность Робертса посвятить годы своей карьеры решению проблемы построения ARPAnet не является удивительной. Он начал серьёзно думать о проблеме ещё четыре года назад. Событием, которое подтолкнуло Робертса начать фокусироваться на этой задаче, были его беседы на конференции по вычислениям 1962 года, среди прочих с Дж.С.Р. Ликлайдером. О концепциях, возникших в ходе обсуждений, Робертс говорил следующее:

«Я пришёл к выводу, что следующим шагом было сделать так, чтобы все эти несовместимые компоненты стали совместимыми через некую сеть. Было много разбросанных в пространстве людей, которые делали разные вещи, но не делились своими исследованиями. Ничего из того, что делал я, не могли использовать другие, потому что всё это было на TX-2, уникальной машине. Так что, если программное обеспечение не было переносимым, единственное его применение было – написание технических статей, что происходило очень медленно. Я пришёл к выводу, что мы должны что-то сделать с коммуникациями, так идея глобальной сети, о которой Ликлайдер говорил больше всех, действительно стала важной».

По словам Роберта Тейлора, недавнее развитие систем разделения времени было причиной, по которой он считал, что его время на посту руководителя IPTO было удачным моментом для продвижения проекта ARPAnet. Тейлор сказал:

«Что поразило меня в опыте с временным разделением, так это то, что до появления системы разделения времени, скажем, в MIT, было много людей, которые не знали друг друга и занимались вычислениями по-разному. Как только система разделения времени становилась доступной, эти люди начинали знакомиться, делить-

ся информацией и спрашивать друг друга: “Как я могу это использовать? Где я могу найти это?” Это было действительно феноменально – увидеть, как компьютер становится центром формирования человеческого сообщества».

В глазах Тейлора, ARPAnet должна была расширить эту «идею интерактивности» на уровень сообщества университетов.

До прибытия Робертса Тейлор уже получил одобрение финансирования для ранних этапов проекта от директора ARPA Чарльза Херцфельда. Следующим шагом, как это часто бывает в крупных проектах ARPA, было собеседование со всеми из вычислительного сообщества ARPA, кто мог бы быть полезен. Он хотел получить представление обо всех мнениях от ведущих специалистов, прежде чем представить окончательное предложение.

Множество исследователей и инженеров предложили идеи, нашедшие отражение в финальном предложении, например, идеи улучшения хост-хост протоколов сети. Но один исследователь, с которым консультировались на этапе подготовки запроса, оказался особенно важен. Это был Уэс Кларк из Лаборатории Линкольна – человек, который наставлял нескольких сотрудников BBN, когда они работали там. Кларк, которого его современники считали настоящим изобретателем, является несколько незаслуженно забытым героем этой эпохи вычислений благодаря своей работе над созданием ранних малых компьютеров, таких как TX-0, TX-2 и LINC. Мысли Кларка помогли убедить Робертса, что вместо того, чтобы использовать для управления ARPAnet большую машину в центре страны, Робертс должен поставить для этой задачи небольшие компьютеры в каждой точке (сайте). Советы Кларка оказались решающими для определения окончательной архитектуры ARPAnet, которая была поразительно децентрализованной.

Эти небольшие компьютеры, предложенные Кларком, стали известны как IMP (Interface Message Processor). В ARPAnet IMP должны были подключаться как к большим хост-компьютерам на месте, так и к соответствующим IMP на других сайтах ARPAnet. Если их удастся создать, использование IMP значительно упростит задачу подключения хост-сайтов к линиям связи. Вместо того чтобы находить способ подключения напрямую к телефонным линиям каждому сайту, они просто подключа-

лись бы к IMP. Основной задачей подрядчика было сделать IMP надёжным и простым в использовании для работы в составе ARPAnet.

В 1968 году был выпущен запрос на предложение (RFP – Request for proposal), который искал главного подрядчика для проектирования, строительства и установки этих IMP. По сути, тот, кто выиграет контракт, возьмёт на себя основную ответственность за успех или неудачу проекта. Сайты ARPAnet, в основном исследовательские учреждения с большим количеством финансирования от IPTO, получают свои собственные контракты ARPA для выполнения определённого объёма настройки, отладки и исследований на своих местах. Подрядчик по IMP должен был построить IMP, которые могли бы взаимодействовать с большинством крупных компьютеров того времени, изначально не спроектированных для совместимости. Этот подрядчик также должен был убедиться, что IMP могут работать через забытые помехами телефонные линии на больших расстояниях в реальном времени. Это была проблема, которая беспокоила Ларри Робертса ещё в Лаборатории Линкольна на малом масштабе. Это была сложная исследовательская задача, а также тонкая проблема инженерной реализации.

Команда BBN посчитала это захватывающим вызовом. Участники команды – Фрэнк Херт и Северо Орнстайн по аппаратному обеспечению, Дэйв Уолден и Уильям Краутер по программному обеспечению и Роберт Кан по теории – не раз подчёркивали, что проект был не только интересным, но и захватывающей инженерной головоломкой, которую нужно было решить. Некоторые чувствовали, что это было дело большого значения, но большинство не совсем осознавало, насколько значимым проект окажется в будущем. Тем не менее было ясно, что это был контракт, который BBN очень хотела получить. Таким образом, Фрэнк Херт и Роберт Кан, – которые консультировались с Робертсом на стадии подготовки RFP, – возглавили усилия BBN по подготовке предложения. Кан взял на себя концептуальную часть предложения, а Херт, в конечном итоге ставший руководителем проекта, взял на себя более практическую инженерную работу.

Кан, который позже станет руководителем IPTO, пришёл в BBN в то же время, что и Херт. В 1966 году Кан взял отпуск в MIT и присоединился к BBN по реко-

мендации коллеги-инженера. Исследовательский интерес Кана к математическим аспектам связи был очень теоретическим. Несмотря на то что Кан несколько раз работал в Bell Labs во время своей докторской работы в Принстоне, в большей степени он был ориентирован на теоретические задачи. Коллега по работе посчитал, что ему нужно больше практического опыта. Кан назвал этот совет «лучшим советом, который я когда-либо получал». Так он оказался в BBN. Изначально он планировал оставаться там всего год или два, но в итоге проработал около шести лет. В BBN Кан выбрал направление сетевых технологий.

Когда был выпущен запрос на предложение, BBN вложила в подготовку гораздо больше времени, чем было обычно для фирмы. Пять или шесть человек работали над проектом примерно три-шесть месяцев. Как вспоминает Северо Орнстайн: *«Я помню ночи до 3-4 утра, когда мы с Робертом Каном работали над предложением в комнате моего дома в Ньютоне – проектировали систему и обсуждали, как всё будет работать»*. Орнстайн также отметил, что *«BBN было потрачено больше денег на подготовку этого предложения, больше человеко-часов было выделено, чем на любом другом проекте»*.

Для справки, фирма стремилась, чтобы 70% рабочего времени каждого сотрудника оплачивалось через контракты. Это необычное использование времени для одного предложения было исключением. Безусловно, это было частично вызвано пониманием, что контракт может привести к долгосрочным продлениям. Но, похоже, основной причиной того, что команда потратила столько времени, была оценка сотрудниками и руководством BBN проекта как захватывающей технической задачи, в которой фирма имела большой опыт.

Операции ARPAnet

Первоначальный годовой контракт, который Робертс предоставил BBN, заключался в разработке IMP и создании четырёхузловой сети, соединяющей UCLA (Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе), Стэнфордский исследовательский институт, UC Santa Barbara и Университет штата Юта. Сумма контракта составляла около \$1 миллиона в 1969 году (~\$8 миллионов сегодня). Начальная команда, работавшая над этим контрактом в первый год,

состояла из пяти участников, подготовивших предложение, а также троих дополнительных штатных сотрудников, в основном для работы с аппаратным обеспечением, и примерно четырёх дополнительных сотрудников на неполный рабочий день. Несколько новых сотрудников были лучшими студентами Северо Орнстайна с его курса в Гарварде.

Команда, занимающаяся подготовкой предложения, по сути, уже проработала многие проблемы, потратив значительное время на подготовку документа. Поэтому она была готова к быстрой реализации и поставила цель – иметь четырёхузловую сеть в рабочем состоянии к концу года. Скорее всего, Робертс ожидал, что команда может не успеть выполнить задачу в срок. Во многих случаях контракты ARPA устанавливали чрезвычайно амбициозные цели, которые позже уточняются РМ, директорами офисов и подрядчиками. Однако в этом случае этого не произошло.

Команда BBN успешно справилась с задачей и смогла не только выполнить требования, но и завершить проект в срок. Это достижение стало важным шагом на пути к развёртыванию ARPAnet и укреплению доверия к BBN как подрядчику для решения критически важных инженерных и исследовательских задач.

Другие подрядчики проекта

В проекте ARPAnet участвовало несколько субподрядчиков. Субподрядчиком был каждый из инженерных отделов узлов. В определённой степени эти отделы были ответственны за настройку своих хост-компьютеров с IMP. BBN делала всё возможное, чтобы облегчить этот процесс. Однако с учётом состояния технологий и уровня подготовки персонала в этих узлах это было признано необходимым. Кроме того, ARPA привлекла подрядчика под названием DECCO, который взял на себя логистически сложный процесс закупки времени на телефонных линиях у AT&T. Конечно, DECCO покупала то, что BBN указывала им покупать. Только BBN знала, что нужно для успешного подключения IMP к телефонным линиям. Но можно представить, как BBN была благодарна DECCO за то, что они хотя бы частично избавили их от этого процесса.

Другими важными подрядчиками были Network Analysis Corporation и Network Measurement Center. ARPA хотела, чтобы Network Analysis Corporation

проводила симуляции, помогающие спроектировать оптимальные топологии сети. Теоретически это было разумно. Но, по мнению Фрэнка Херта, эта компания не оказалась столь полезной при определении, какие узлы добавлять в сеть, как ожидалось ARPAnet. На его взгляд, на то, как будет развиваться сеть, в большей степени влияли практические вопросы, такие как наличие сотрудников в отделах или готовность работать с IMP. Network Measurement Center, возглавляемый Леонардом Клейнроком в UCLA – первом узле ARPAnet, занимался измерениями для изучения сети. С точки зрения Херта, Network Measurement Center носил несколько академический характер и не играл ключевой роли в первоначальной инженерной разработке или проектировании ARPAnet. Тем не менее он оказался полезным для измерений, касающихся устойчивости и эффективности сети на ранних стадиях.

Наконец, субподрядчиком, оказавшим наибольшее влияние на успех контракта, была Honeywell. У BBN не было производственных мощностей, поэтому чтобы воплотить IMP в реальность, нужно было заключить контракт с производителем компьютеров. В то время немногие компьютерные производители занимались такого рода работами. Стандартные процессы производства компании не были рассчитаны на выполнение полностью кастомизированных заказов. Эти процессы были адаптированы для доработки, но не для создания совершенно новых систем. Однако Honeywell недавно приобрела компанию Computer Control Corporation (CCC), что сделало их исключением из этого правила. Команда CCC, как отметил Херт, «понимала, как работать в бизнесе по созданию специальных систем». Это было настолько уникальное умение, что по крайней мере два участника тендера использовали Honeywell в качестве субподрядчика – BBN и Raytheon. Ларри Робертс указал это как одну из причин, почему предложение Raytheon рассматривалось наряду с предложением BBN.

Некоторые из основных технических проблем

Команда BBN столкнулась с рядом серьёзных технических проблем, которые требовали решения.

Одной из главных проблем, над которой команда работала на начальных этапах, была проблема управления ошибками и их коррекции. Решая эту задачу, команда разработала специаль-

ное аппаратное обеспечение для проверки контрольных сумм, которое должно было быть установлено как на передающем, так и на принимающем концах цепи. Каждый передаваемый пакет информации получал 24-битную циклическую контрольную сумму (CRC), которая затем подсчитывалась аппаратным обеспечением на принимающем конце, чтобы определить, были ли ошибки при передаче. Если ошибки обнаруживались, пакет пересылался заново.

Как узлы адресовались в нужное место, стало наиболее теоретически сложной частью этого инженерного эксперимента. Технологии пакетной передачи данных, знакомые нам сегодня, тогда были ещё слабо проверены. Это была одна из двух областей, где присутствие Роберта Кана оказалось крайне полезным для команды, ориентированной на инженерию. Кан смог быстро объяснить им различные аспекты алгоритмов пакетной передачи данных, когда возникали проблемы. (Другой важной теоретической областью, в которой Кан внёс значительный вклад, были математические аспекты проблем с ошибками на телефонных линиях.) Технические детали изначально развёрнутых командой алгоритмов маршрутизации описаны в отчёте о завершении проекта для ARPAnet следующим образом:

«Выбранный подход заключался в использовании распределённого адаптивного алгоритма маршрутизации трафика, который на основе информации от соседних узлов оценивает глобально правильный мгновенный путь для каждого сообщения с учётом изменения входных нагрузок и локальных отказов линий или узлов. Каждый IMP сохраняет таблицы, содержащие оценку выходного канала, соответствующего пути с минимальной задержкой к каждому другому IMP, и соответствующую оценку задержки. Периодически каждый IMP отправляет свои текущие оценки маршрутизации соседям; всякий раз, когда IMP получает такое сообщение, он обновляет свои внутренние оценки. Таким образом, информация об изменениях условий регулярно распространяется по всей сети, и всякий раз, когда пакет трафика должен быть помещён в очередь для выходного канала, IMP использует свою последнюю оценку лучшего пути».

Другой крупной областью проблем стали технические аспекты интерфейсов между IMP и хостами. Инженеры потратили значительное количество

времени, пытаясь найти способы успешно подключить IMP к различным типам компьютеров, при этом минимизируя количество инженерной работы, которая требовалась от подрядчиков узлов для подключения их машин к IMP.

Решения всех этих проблем должны были работать практически в реальном времени. Люди, работающие с удалёнными машинами, собирались использовать сеть не только для отправки пакетных сообщений вроде электронной почты. Они собирались использовать свои компьютеры для удалённого доступа к другим компьютерам, как если бы вся сеть была одним общим компьютером с разделяемым временем. Чтобы всё это работало с разумными задержками времени, команде BBN пришлось делать такие вещи, как *«писать очень тщательно настроенные программы на машинном языке для оптимизации пропускной способности и низкой задержки канала передачи данных в узле»*. Команда подчеркнула в своём заключительном отчёте, что *«большое внимание уделялось минимизации времени работы внутренних циклов этих программ»*. Многие мелочи оказались критически важными.

Многие проблемы – от проектирования IMP, программного и аппаратного обеспечения для подключения хост-IMP до программного обеспечения для коррекции ошибок – требовали пристального внимания. Все высокоуровневые концепции – отправка сообщений между компьютерами через телефонные линии, соединение двух компьютеров через коммуникационную линию в лабораторных условиях, базовая обработка сообщений через шумные коммуникационные линии и т.д. – уже были реализованы и экспериментально продемонстрированы. Но BBN пришлось изобрести и спроектировать всё, что нужно было для того, чтобы это стало не только технически возможным, но и применимым на практике.

Если не вдаваться в детали, то реализованная технология пакетной передачи данных была основной «новой» концепцией команды. Но, как скажут многие инженеры, такой проект, как этот, всегда полон неизвестных. Это отчасти объясняет, почему промышленность не решилась заниматься такими проектами в своих НИОКР. Однако благодаря непрерывному опыту работы сотрудников BBN с реальными временными системами и коммуникациями для вычислительных машин в

последние годы, они, вероятно, были той командой, которая лучше всего понимала, что могут собой представлять «неизвестные» этого проекта, и как с ними справиться, когда они возникнут.

Партнёрство с Honeywell

В разработке и производстве IMP команда BBN сильно полагалась на Северо-Орнстайна. Орнстайн ранее работал с Фрэнком Хертом и другими над различными компьютерными проектами в Лаборатории Линкольна, сотрудничал с Уэсом Кларком по созданию малых компьютеров в WUSTL (Университет Вашингтона в Сент-Луисе) и затем вернулся в Кембридж, чтобы работать в BBN и читать лекции в Гарварде. До начала работы над проектом ARPAnet Орнстайн занимался проектами, связанными с использованием компьютеров в образовании. Его интерес к запросу ARPAnet заставил его посвятить больше времени работе в BBN.

Во время разработки IMP в процессе подготовки предложения Орнстайн оценил, что «мы тогда сделали 90% разработки». Однако, чтобы компьютеры были построены, даже после того как BBN выиграла предложение, Орнстайн продолжал тратить значительные усилия на работу с Honeywell. Орнстайн вспоминает:

«Человек из Honeywell, которому было поручено создавать интерфейсы по моим чертежам, плохо их понял и не был достаточно внимателен. Мы в итоге вынуждены были переделать большую часть его работы».

Многое из взаимодействия BBN с Honeywell может поставить под сомнение, что промышленный подрядчик справился бы с этим контрактом так же эффективно, как это сделала команда BBN. Один из примеров, описанных Орнстайном, иллюстрирует, как команда BBN решала запутанную проблему, и помогает понять, почему это так. История освещает характер работ, которыми занимались сотрудники BBN до этапа реализации, и как Honeywell решала возникающие проблемы. Орнстайн объясняет:

«Они не привыкли делать некоторые из тех вещей, которые делали мы... Например, мы обнаружили дефекты в конструкции машины. Одна из причин, почему мы выбрали Honeywell 516, заключалась в том, что мы считали, что это зрелая машина, которая не доставит нам проблем. Ну, мы ошиблись. Мы сильно нагружали её... и

обнаружили баг, в который они едва ли поверили – проблему синхронизатора... Проблемы с синхронизатором очень тонкие. Мы должны были копаться в этом, и наконец из их чулана появился действительно умный парень – они, конечно, имеют пару таких, но было очень трудно его найти. Мы наконец нашли его... Когда он пришёл, и мы сели, я, наконец, нашёл кого-то, с кем можно было поговорить, кто понял бы меня и поверил мне. Это была тонкая проблема. Программа прекрасно работала на машине несколько дней подряд, но в конце третьего или четвёртого дня вдруг машина просто “умирала” без объяснения причин. Это был очень, очень редкий сбой, настолько редкий, что ты не мог увидеть его на осциллографе, только последствия. Нам пришлось разработать специальное оборудование, которое бы “било” по проблемному месту гораздо быстрее, чем обычно. И только тогда, когда в комнате были выключены все огни, мы смогли увидеть на осциллографе редкие сбои. Тогда люди из Honeywell наконец поверили, что это реальная проблема... Мы посоветовали им тривиальное исправление, которое они могли бы внести в машину...»

Итак, их специалисты не были абсолютного топ-уровня, но тем не менее они были квалифицированными инженерами, в отличие от чисто исследовательских специалистов.

Конечно, в те времена существовали и промышленные операции с рядом исследовательских специалистов, таких как Bell Labs, бывшее место работы Кана, которые имели достаточно «исследовательских» людей. Однако неясно, как компании вроде Raytheon справились бы с такими проблемами. Смогли бы они их решить? Если да, то как быстро? Мы видим, что команда Honeywell отлично справлялась с повторным созданием машин после того, как уже была изготовлена одна. Но определённые принципы и навыки компьютерной инженерии, использовавшиеся в проекте, были намного более знакомы таким командам, как та, что работала в **Lincoln Lab** и с **Wes Clark** в WUSTL, чем большинству других групп. Это было огромным преимуществом BBN.

Несмотря на это, команда инженеров, бывших сотрудниками университетов, всё же воспринимала проект как скорее новаторскую инженерную задачу, чем исследовательскую проблему. Дэйв Уолден, один из двух основных инженеров-программистов проекта, позже ставший

генеральным директором BBN, описал, как команда воспринимала задачу, следующим образом:

«Моё мнение таково, что в основном мы занимались очень прагматичной инженерией. Мы должны были передать биты по проводам: как добавить заголовок, как добавить хвост. Теория заключалась в том, как наложить коды для исправления ошибок. Роберт Кан знал эту теорию и объяснил нам, что она собой представляет. Были некоторые ограничения: вот как должно происходить подключение к 303 (или 301, или как там называется модем Bell), но после этого всё было довольно прагматично. Теории много не было».

Управление командой

Прежде чем погрузиться в детали реализации однолетнего контракта, стоит сначала понять, как в BBN была организована работа команды. Во-первых, команда была гораздо меньше, чем можно было бы ожидать.

В течение первого года работы команда оставалась небольшой – всего около восьми человек. Именно так предпочитал работать Фрэнк Херт. По его мнению, для успешной реализации проекта достаточно было небольшой группы талантливых специалистов в соответствующих областях. Он подробнее описал стиль работы на проекте, сказав:

«Я считаю, что важные вещи лучше всего делают маленькие группы людей, которые знают всё о проекте. В те времена все программисты что-то знали о железе, а все аппаратчики умели программировать. Это была не группа незнакомых людей, а команда, где каждый знал многое о работе в целом. Я считаю это важным в любых крупных проектах. Так что, если это можно назвать стилем управления, то это то, что я бы сказал. Я также считаю, что это была очень, очень талантливая группа. Я думаю, что дела идут лучше всего, когда над ними работают маленькие группы очень, очень хороших людей – если вы можете это организовать. Не всегда это удаётся. Так что, если хотите, можете назвать это стилем управления – собрать лучших людей в небольшом количестве, чтобы все знали, что делает каждый» (рис. 4).

Херт был категорически против того, чтобы команда разрослась до такого размера, что коммуникация стала бы осуществляться только через документы. Он предпочитал стиль работы с «очень, очень частыми взаимодействиями по



Рис. 4. Первые авторы IMP (слева направо): Труэтт Тэтч, Билл Бартелл (Honeywell), Дэйв Уолден, Джим Гейсман, Роберт Кан, Фрэнк Харт, Бен Баркер, Марти Торп, Уилл Кроутер, Северо Орнстайн

проблемам». Как вспоминал Уолден: «Я не помню, чтобы у нас были еженедельные совещания по прогрессу. Мы, вероятно, были в курсе прогресса гораздо лучше, чем этого требовало бы обычное совещание; скорее всего, мы обсуждали всё каждый час». Херт и вся маленькая команда старались оставаться технически вовлечёнными в работу друг друга. Херт, как правило, вникал в каждую деталь проекта. Члены команды пытались делать то же самое, что они считали довольно простым, поскольку вся команда работала в непосредственной близости друг от друга в офисах и рабочих местах. Когда возникали вопросы, они просто шли к нужному человеку или устраивали импровизированные собрания.

Ранние установки узлов

С определёнными трудностями команда BBN преодолевала одну проблему за другой, как это описано, например, в разделах о технических проблемах и партнёрстве с Honeywell. С большой настойчивостью команда построила и отладила указанные в спецификации IMP. К сентябрю 1969 года аппаратное и программное обеспечение для первого IMP было готово к установке.

В отличие от многих подрядчиков ARPA в области вычислений, в UCLA была команда людей, которые были особенно заинтересованы в проекте ARPAnet. Хотя многие профессора, владевшие компьютерами, воспринимали ARPAnet как возможность для ARPA заставить их ещё сильнее делиться временем работы их компьютеров, Леонард Клейнрок и другие в UCLA имели исследовательские интересы, связанные непосредственно с самой сетью.

Клейнрок, в частности, уже писал о теоретических аспектах пакетной передачи в своей предыдущей работе. Ради этого интереса он создал **Network Measurement Center** для мониторинга некоторых аспектов сети в качестве субподрядчика для контракта ARPAnet.

В начале сентября 1969 года BBN отправила свой первый IMP в UCLA (рис. 5). Отправляя готовые IMP на хост-сайты, BBN отправляла с ними сотрудников, чтобы они сопровождали машины на борту самолёта на всякий случай. На места установки этих первых узлов Орнстайн и некоторые программисты, такие как Дэйв Уолден, поехали лично, чтобы подключить IMP к телефонным линиям и решить возникающие проблемы с настройкой. В преддверии отправки машин BBN поделилась набором технических спецификаций с хост-сайтами, чтобы они могли выполнить как можно больше работы заранее. На стороне узлов обычно этой работой руководили люди, отвечающие за аппаратное и программное обеспечение.

BBN, по-видимому, очень эффективно донесла свои технологии до UCLA. UCLA, со своей стороны, похоже, хорошо усвоила информацию и построила всё в соответствии с требованиями. По словам Леонарда Клейнрока, в течение дня после первоначального подключения IMP и SDS Sigma 7 UCLA сообщения начали передаваться туда и обратно.

Это было огромное достижение. Однако многие вопросы оставались без ответа до тех пор, пока не была выполнена вторая установка. Только тогда BBN смогла увидеть, что происходит, когда два узла пытаются общаться друг с другом. В следующем месяце команда BBN установила второй узел в Стэн-

фордском исследовательском институте (SRI) – который также был субподрядчиком ARPA для исследования сети. Как только BBN и SRI подключили IMP, обе исследовательские команды узлов попытались отправить первое сообщение по ARPAnet. Как вспоминает Леонард Клейнрок:

«29 октября 1969 года я и один из моих программистов, Чарли Клайн, были в комнате, и мы решили войти в систему этой [SRI] машины. Чтобы войти, нужно было ввести „LOG“, и удалённая машина должна была ввести „IN“. Наша задача заключалась в том, чтобы просто ввести „LOG“. На другом конце был ещё один программист, который наблюдал за всем этим. У нас была телефонная связь для общения. Что произошло: Чарли набрал „L“ и спросил: „Ты получил «L»?“. И ответ был: „Получил «L»“. Он набрал „O“. „Ты получил «O»?“. „Получил «O»“. Он набрал „G“. „Ты получил «G»?“. Ого! Система вылетела. Эта машина [SRI] остановилась».

Таким образом, первое сообщение в Интернете было «**LO**», как в «**Lo and behold!**» (в переводе «О чудо!»). Лучше и эффектнее сообщение трудно было придумать.

Очевидно, команда BBN посчитала достаточным успехом, что хоть какие-то буквы были переданы. Команда продолжила установку новых IMP по одному каждый месяц в течение оставшейся части года, всего установив четыре узла. Проблемы продолжали возникать как в тестировании BBN, так и в тестировании исследователей узлов. BBN решала проблемы по мере их появления. Судя по всему, ни одна из этих проблем не была особенно разрушительной.

Клейнрок с воодушевлением описал организацию работы следующим образом:

«Итак, у нас была сеть из четырёх узлов, и мы начали тестировать её, выявлять проблемы. Мы могли ломать эту сеть в любой момент, находили дефекты, тестировали их с BBN и так далее».

По мере устранения проблем было необходимо регулярно вносить изменения в аппаратное обеспечение и выпускать новые версии программного обеспечения. Обновление программного обеспечения происходило в первую очередь так: Дэйв Уолден ездил на каждый из сайтов с бумажными лентами, чтобы запустить новую версию программного обеспечения на машинах. Таким образом, первая партия узлов

стала подопытной и постепенно улучшалась. BBN справилась с этим в рамках бюджета и в пределах годового срока контракта. Ларри Робертс и ARPA, безусловно, были очень довольны прогрессом. К концу года ARPA заключила новый контракт с BBN на расширение сети до 19 узлов.

Прежде чем обсудить, как проект масштабировался, давайте коротко рассмотрим рабочие отношения Ларри Робертса с командой BBN. Робертс был очень активным менеджером в проекте ARPAnet, а не только его финансистом.

Работа с Ларри Робертсом

При подготовке запроса на предложение (RFP) для ARPAnet Робертс тщательно изучил множество технических аспектов и проконсультировался с ведущими специалистами вычислительного сообщества. В результате он принял несколько ключевых решений ещё до того, как контракт оказался в руках BBN. Как сказал Фрэнк Херт: «Они [DARPA] выбрали скорость передачи 50 килобит, выбрали сайты, решили вопросы, связанные с контрольными суммами. Множество работы было проделано DARPA заранее».

Как выразился Дэйв Уолден, BBN безусловно можно считать оператором ARPAnet и основным драйвером инженерных работ, но ARPA была высокоуровневым управляющим. Вся эта операция, сам ARPAnet, была задумана для того, чтобы предоставить новые возможности подрядчикам ARPAnet. Таким образом, постоянное руководство со стороны Робертса было вполне логичным. Кроме того, в ARPA работали некоторые из лучших умов, которые могли подсказать команде BBN технические решения. Поэтому Робертс и ARPA, когда это было необходимо, организовывали встречи между BBN, подрядчиками узлов и другими заинтересованными сторонами. Теперь уже известная **Network Working Group**, которая обсуждала множество идей, относящихся к ARPAnet, таких как будущие протоколы TCP/IP, является плодом таких усилий.

Когда проект был запущен, Робертс в основном оставил принятие ежедневных решений на ответственности BBN. Команда не должна была запрашивать его одобрение по многим вопросам. Однако он продолжал держать руку на пульсе проекта и время от времени высказывал свои возражения. Робертс мог теоретически использовать свою власть как финансирующая сторона

проекта, но на практике такая система не работала. Если Робертс не соглашался с подходом команды к какой-то проблеме, они обсуждали это по телефону или лично, пока не приходили к какому-то соглашению. В случае спорных вопросов это могло занять несколько дней. Но в большинстве случаев соглашение бывало достигнуто достаточно быстро.

Команда BBN проявляла огромное уважение к Робертсу как к инженеру. В свою очередь, Робертс, похоже, также сильно уважал команду BBN. У Робертса была прямая линия связи не только с Хертом, но и с людьми, ответственными за отдельные компоненты технологий в команде, такими как Северо Орнстайн. По словам Херта, обычно не проходило и недели, чтобы Робертс не поговорил с кем-то из команды. Орнстайн, который был особенно непринуждённым, сказал, что он просто беседовал с Робертсом так же, как и с любым другим коллегой.

Начало масштабирования сети

Первоначальный контракт на создание сети из четырёх узлов оказался успешным (рис. 6). Поэтому ARPA решила предоставить BBN новый контракт для руководства проектом по расширению сети до 19 узлов. А в начале 1970-х годов сама BBN стала пятым узлом ARPAnet, поскольку сеть продолжала расширяться со скоростью примерно один узел в месяц (рис. 7).

Масштабирование сети

С продолжением проекта по расширению сети возникали новые инженерные проблемы. Несмотря на то что Фрэнк Херт был известен своей крайне осторожной инженерной позицией, нельзя было ожидать, что всё будет работать идеально. Этот проект был экспериментом, уникальной сетью, и в этом контексте можно было быть осторожным только до определённой степени, иначе весь прогресс был бы приостановлен.

Во многих областях команда BBN рассматривала технологии, которые изначально считались вполне достаточными, с пониманием, что они смогут продолжать совершенствоваться компоненты технологии в процессе работы. Одним из таких случаев стали сетевые протоколы. Начальные протоколы NCP были признаны Network Working Group недостаточно оптимальными. С годами протоколы NCP улучшались до тех пор, пока не были полностью заменены на

знаменитые теперь протоколы TCP/IP, разработанные Каном и Серфом.

Как отмечается в отчёте о завершении проекта ARPAnet, порой проблемы, возникавшие в рабочей сети, были гораздо более серьёзными, чем просто мелкие сбои. В 1970 году была продемонстрирована серьёзная проблема с управлением потоком IMP и распределением памяти. Если узловые хосты не учитывали ошибки, это могло случайно остановить всю работу сети. Однако несмотря на то что BBN и другие потратили несколько месяцев на решение этой проблемы, ARPAnet продолжал обеспечивать стабильную работу для своих узлов.

Вот как об этом вспоминает Дэйв Уолден:

«...почти сразу стало очевидно для всех, кто раньше в это не верил, что то, что мы изначально реализовали, было недостаточно. И то, что мы специфицировали для хостов, и что они реализовали, имело много последствий. Теперь это было сделано, но работало не так хорошо. Так что в первые год или два, довольно долгое время, существовали неформальные правила в сети: не закачивайте данные в сеть с хостов слишком быстро, чтобы не "положить" сеть. Потому что мы все знали, что алгоритмы не работали, они явно ломались, когда вы слишком сильно нагружали их. И поэтому это промежуточное решение работало в сети – вот что не могут себе представить те, кто работает над доказательством правильности программ. На самом деле это было довольно полезно в те ранние дни экспериментов, потому что все дого-

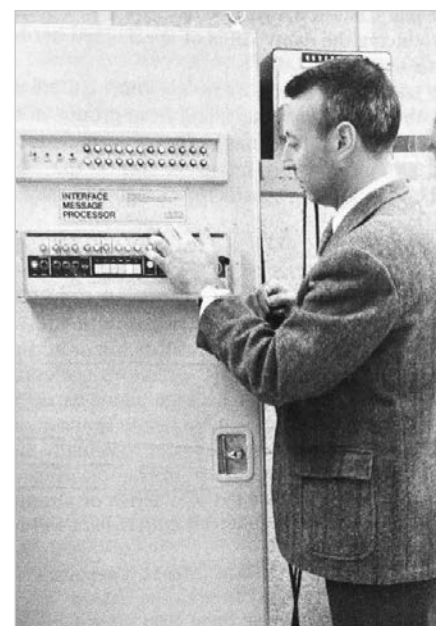


Рис. 5. Фрэнк Херт с одной из первых IMP



Рис. 6. ARPAnet в декабре 1969 года

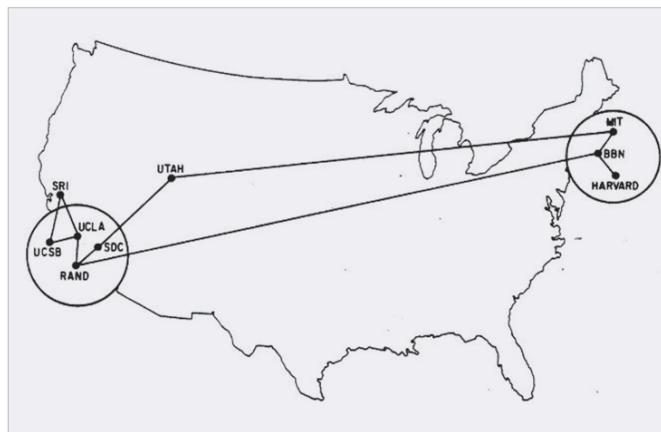


Рис. 7. ARPAnet в июне 1970 года

ворились не ломать её. Мы знали, как её сломать, но давайте не будем этого делать. А пока давайте разберёмся, как это починить...»

Масштабирование сети и расширение возможностей

Поскольку все первые пользователи ARPAnet были хорошо обученными и компетентными инженерами и исследователями, команда BBN могла постепенно увеличивать возможности своей службы. Один из примеров этого – Дэйв Уолден, который носился с бумажными лентами для реализации обновлений программного обеспечения. По мере того как сеть расширялась и становилась более надёжной, BBN смогла посвятить больше усилий тому, чтобы сеть начала работать более самостоятельно (рис. 8).

В эти средние годы проекта BBN также начала расширять свои усилия по нахождению более эффективных решений для управления сетевыми проблемами, ответов на вопросы от узлов и т.д. Изначально ответом BBN на эту задачу было привлечение Дэйва Уолдена. Как вспоминает Уолден:

«До сентября 1970 года у меня был список программ рядом с телефоном дома, и я получал звонки домой всякий раз, когда что-то ломалось. Мой номер телефона был буквально написан на передней панели первых пакетов-выключателей, и они звонили мне домой в Олстон, и я разговаривал с тем, кто был на месте, используя свои списки. Вот так это происходило».

С поддержкой ARPA для выполнения этой задачи BBN внедрила Network Control Center (NCC). При создании NCC BBN разработала и внедрила инструменты и программное обеспечение для регулярного пинга сети, отслеживания проблем сети, мониторинга состояния

хостов и т.д. Александр Маккензи стал «универсалом ARPAnet», которого BBN сделала ответственным за обслуживание клиентов проекта по мере его роста. Маккензи с гордостью рассказывал истории о том, как он звонил телефонным компаниям и говорил им, что линия вот-вот выйдет из строя... и она действительно выходила. Эти компании были весьма впечатлены, поскольку возможности такой диагностики у них ещё не было.

Начиная с 1972 года BBN создала штат сотрудников для предоставления услуг по отладке и другим сервисным вопросам для узлов сети на постоянной основе – три человека работали в дневную смену, двое – в вечернюю смену и один – в ночную смену. Благодаря усилиям BBN и NCC узлы сети вскоре смогли (в большинстве случаев) автоматически сообщать о своём состоянии. Обслуживание и отладка, как правило, выполнялись удалённо из контрольного центра. С ростом возможностей NCC BBN успешно размещала IMP в местах, где сотрудники имели всё меньше и меньше знаний в области вычислительной техники.

Кроме того, по мере расширения сети BBN проводила исследования с целью расширения типов IMP, а также видов коммуникационных линий, к которым можно было подключать IMP. В 1971 году BBN завершила проектирование своего первого терминала интерфейса сообщения (TIP). Эти терминалы могли подключаться к ARPAnet и работать на хост-машинах ARPAnet без необходимости запуска на собственном хост-компьютере. Собственно, TIP были более дорогими, чем IMP, но эта идея была чрезвычайно захватывающей для ARPA, потому что работающие TIP означали, что можно было подключиться к ARPAnet без наличия крупного компьютера. Первые два TIP были установлены

в MITRE и в исследовательском центре NASA AMES. В начале 1970-х годов были установлены первые TIP, IMP подключались к сети через спутниковые технологии, был разработан стандартный IMP, в десять раз более мощный, чем начальные, а также был развёрнут многозадачный процессор Pluribus для IMP, разработанный Орнстайном.

Когда ARPAnet достигла масштабов 19 узлов, ARPA уже заключила контракт с компанией BBN на расширение сети до более чем 50 узлов (рис. 9). Первые два года проекта прошли в основном в соответствии с планом и в рамках бюджета. В следующем этапе расширения сеть начала включать узлы из удалённых географических районов, таких как Гавайи и Норвегия. Это потребовало использования новых технологических возможностей проекта, а также первых взаимодействий с зарубежными операторами связи. Хотя эти удалённые узлы часто подвергались сбоям, они в целом оставались работоспособными и продемонстрировали полезность некоторых новых функций (рис. 10).

В течение этого периода настойчивые усилия Ларри Робертса по убеждению персонала узловых сайтов выполнять необходимые шаги для успешной работы оказались крайне полезными для поддержания проекта в нужном русле. Будучи одним из основных источников финансирования вычислительных ресурсов для этих сайтов, он мог легко оказывать на них влияние. К 1975 году проект ARPAnet явно стал устойчивым. Поэтому ответственность за него была передана Агентству связи Министерства обороны (DCA). По словам историка DARPA Ричарда Ван Атты, на момент передачи проекта в DCA общие расходы на проект составили 25 миллионов долларов (около 150 миллионов долларов в сегодняшних ценах). Эта сумма покрывала

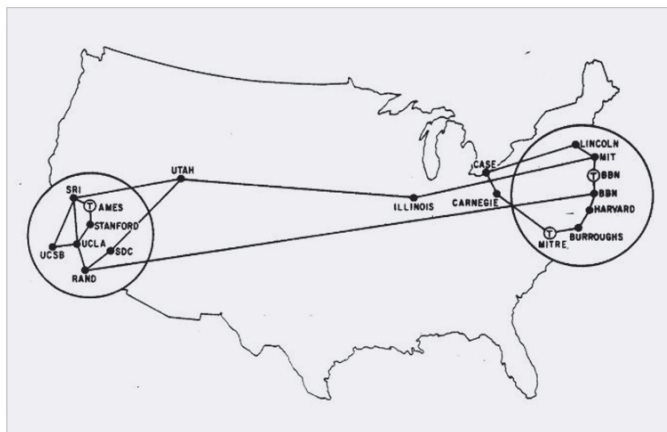


Рис. 8. ARPAnet в сентябре 1971 года

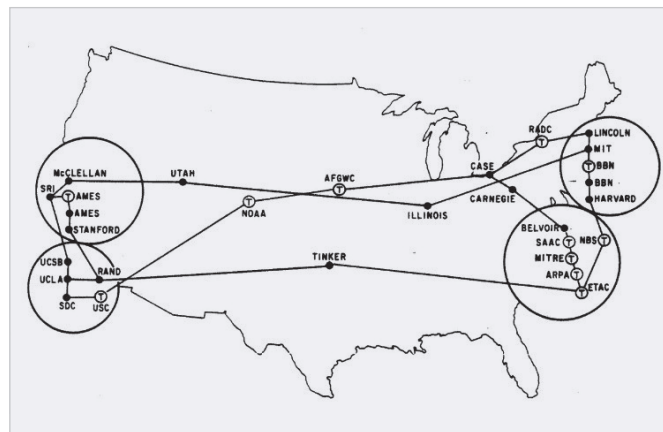


Рис. 9. ARPAnet в августе 1972 года

вала весь проект, а не только долю BBN. С любой точки зрения это можно считать исключительно экономичным успехом.

Требуется краткое пояснение, как именно внешний мир – в смысле те, кто не был связан с узловыми сайтами ARPAnet, – узнал об успехах ARPAnet. Даже в 1972 году многие представители коммуникационного сообщества сомневались, что идея создания сети с коммутацией пакетов, охватывающей всю страну, может быть технически реализована в ближайшее время (рис. 11).

Последний проект Роберта Кана в качестве официального члена BBN помог развеять эти сомнения. В октябре 1972 года он устроил масштабную демонстрацию ARPAnet на первой Международной конференции по компьютерной связи (ICCC). Эта конференция оказалась чрезвычайно полезным катализатором для BBN и каждого из подрядчиков, работающих с узлами. Она создала предпосылки для тщательной отладки множества технологических решений, закрепления определённых протоколов и т.д.: академики гораздо лучше реагировали на установленные дедлайны или угрозы сокращения финансирования, чем на наличие багов в системе. Кроме того, сама конференция дополнительно простимулировала как можно больше узловых сайтов стать функциональными и работать с максимально возможным числом вариантов использования. На тот момент многие узлы были оснащены оборудованием и программным обеспечением, предназначенным только для некоторых приложений ARPAnet.

Десятки узлов предоставили вычислительные хосты для демонстрации. Конференция стала своего рода демонстрацией «сделай сам», где люди могли подключаться к хостам через TTP и рабо-

тать с ними так, как это делали пользователи узлов каждый день. Это могло быть чем-то простым, например, электронной почтой, которая стремительно становилась популярной, или более сложными программами. Как вспоминал Робертс:

«Я думаю, что это было тем самым поворотным моментом, когда люди вдруг осознали, что коммутация пакетов – это реальная технология. Мы проводили демонстрацию для тысяч людей – точное число мне неизвестно, – но, по крайней мере, тысяча человек посетила этот выставочный стенд».

Или, как сказано в отчёте о завершении проекта ARPAnet:

«Демонстрация была поистине впечатляющим успехом; всё работало удивительно хорошо, и многие посетители отметили, что технологии ARPAnet действительно существуют».

Результаты ARPAnet

С технической точки зрения эксперимент с ARPAnet оказался успешным во многих отношениях. Проект доказал, что можно создать большую сеть, в которой сбои на отдельных узлах локализуются и не приводят к отказу всей сети. Он убедительно продемонстрировал работу адаптивных алгоритмов маршрутизации и теории коммутации пакетов. В значительной степени ARPAnet доказал, что децентрализованная сеть может функционировать самостоятельно без централизованного командного пункта. Наконец, с точки зрения пользователя, IMP и TTP оказались достаточно надёжными и простыми в использовании, чтобы обеспечить возможность многозадачности с участием разнородных компьютеров, находящихся на огромных расстояниях друг от друга, для выполнения различных задач. Рабочий ARPAnet также успеш-

но выполнил роль тестовой платформы для всего поля исследований в области компьютерных коммуникационных технологий.

Но, конечно, успех проекта ARPAnet не ограничивается лишь техническими достижениями. Как отмечается в отчёте о завершении проекта ARPAnet от BBN:

«Проект ARPANET также доказал возможность создания тесно связанных сообществ с техническим интересом на обширной географической территории; возможно, эта демонстрация социальной осуществимости так же важна, как и многие технические демонстрации».

Возможно, самым ярким показателем этого роста является тот факт, как быстро увеличивался трафик между узлами сети в середине 1970-х годов (рис. 12).

С ростом использования сети BBN беспокоился, что даже новые алгоритмы, используемые для маршрутизации, управления потоком и контроля за перегрузками, могут не справиться с увеличивающейся нагрузкой. Но, как отметили разработчики, «к счастью, улучшения в алгоритмах всё же успевали немного опережать рост размера сети и трафика». По оценке BBN, замедление темпов роста было связано с тем, что на определённом этапе существующие хост-машины, подключённые к сети, просто достигли предела своих возможностей.

В этот период роста острые проблемы, существующие в сети, начали уменьшаться, BBN улучшала свои процессы, спрос на сеть рос, а также увеличивалось количество исследований, которые так или иначе зависели от сети. Несколько сотрудников BBN в своих интервью с энтузиазмом рассказывали о том, как сеть постепенно становилась «коммунальной услугой». Ког-

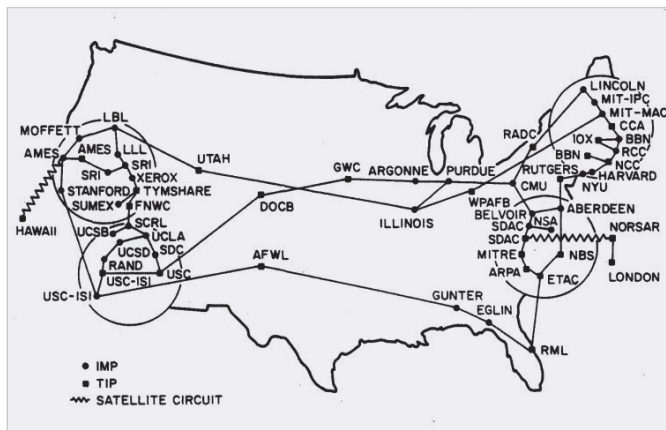


Рис. 10. ARPAnet в июле 1975 года. Все эскизы ARPAnet предоставлены в отчёте о завершении разработки ARPAnet

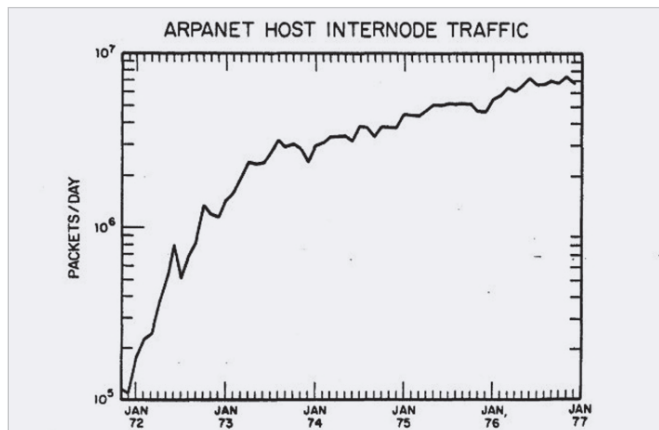


Рис. 12. Любезно предоставлено отчётом о завершении работы ARPAnet



Рис. 11. Ранняя версия NCC (Network Control Center). Джим Пауэрс на фото – стоит

да интервьюер попросил их объяснить это, Херт сказал:

«Коммунальная услуга – это то, на что люди полагаются. Это как электричество, телефоны, освещение, железные дороги или самолёты. Да, это была коммунальная услуга. Это удивительный сюрприз. Всё начиналось как эксперимент, чтобы соединить четыре сайта, а стало коммунальной услугой гораздо быстрее, чем кто-либо мог предположить. Люди начали зависеть от неё. И это стало проблемой [для нас], потому что, когда ты что-то меняешь или возникают проблемы, все начинают злиться. Так что это был обоюдоострый меч. Но это было и очень захватывающее».

Александр Макинзи отметил, что, хотя ARPAnet никогда не была настолько надёжной, как энергоснабжающая

компания, команде в конце концов удалось поддерживать работоспособность IMP на уровне 98–99% времени. По мере того как сеть превращалась в «коммунальную услугу», всё большее внимание уделялось деятельности в стиле NCC. Исследовательская и операционная деятельность, направленная на повышение надёжности сети, постепенно становилась приоритетной по сравнению с исследованиями сети, которые порождали знания, но мешали обслуживанию. Это, вероятно, разочаровало некоторых сотрудников BBN, но также может рассматриваться как симптом успеха проекта.

Сеть становилась настолько удобной, что значительная часть трафика в сети была внутрисетевым трафиком. Компьютерные хосты на одном сайте стали общаться друг с другом на той же локации. Иными словами, для многих задач общение через ARPAnet стало предпочтительнее, чем хождение к соседу в офис.

В 1972 году BBN даже начала попытки создать дочернее предприятие для коммерциализации технологии на более широком рынке. ARPA поддерживала эту инициативу на моральном уровне, хотя и не финансировала её. На самом деле, помощь в создании этой фирмы, Telenet, стала первой задачей Ларри Робертса после его ухода из ARPA. Он пришёл в ARPA, чтобы сделать межкомпьютерные сети реальностью, а теперь, покидая её, он примерял роль, где мог попытаться предоставить эту технологию как можно большему количеству пользователей. Telenet в дальнейшем добилась некоторого успеха как растущий поставщик сетевых услуг, но не стала «сногсшибательным» успехом. Тем не менее тот факт, что технология, финансируемая ARPA, показала

коммерческий потенциал всего лишь через шесть лет после первоначального финансирования проекта, следует считать большим достижением.

Если придраться, можно отметить, что первоначальная цель ARPA при реализации сети заключалась в снижении вычислительных затрат. Однако эта цель так и не стала основной при использовании сети. По мере того как вычислительные затраты постепенно снижались, это конкретное использование ARPAnet стало далеко не самым важным. Сеть нашла себе более интересные и полезные применения.

Уроки ARPAnet

Из отчёта можно извлечь множество уроков, имеющих отношение к управлению проектами в малом масштабе. Например, очень важным решением стало поддержание BBN тесных связей с академическим сообществом и реализация решений без излишних задержек. Сетевой рабочей группе, ориентированной на академические исследования, в первые годы её существования не удавалось прийти к единому мнению о том, какие протоколы лучше использовать. Команда BBN могла бы бесконечно стремиться к совершенству и потратить слишком много времени, чтобы получить идеальный набор рекомендаций по протоколам от этой группы. Вместо этого BBN реализовала протоколы NCP и постепенно, основываясь на большом количестве отзывов от группы, перешла к значительно улучшенным протоколам TCP/IP. Ещё один интересный урок – это использование Робертсом демонстрации в качестве инструмента давления с целью заставить все узлы стремиться к оснащению полным набором возможностей ARPAnet.

Однако, помимо этих мелких уроков, необходимо полностью осознать, насколько важно для успешного выполнения проекта было иметь именно такого подрядчика, как BBN. Им были выполнены успешно и в срок не только исследовательская и прототипная стадии этого сложного проекта, но и его полноценный перевод в статус коммунальной услуги. Важным уроком является понимание того, как и почему это удалось.

Команда BBN состояла из лучших умов, глубоко погружённых в научную деятельность, но при этом работавших в структуре компании. Дэйв Уолден, объясняя, почему именно BBN заслужила прозвище «третий университет Кембриджа», подчёркивал следующее: *«BBN предоставляла поддержку исследователям-одиночкам, которые могли и хотели найти спонсоров для намеченных ими исследований. Работа не направлялась сверху вниз; старшие исследователи были свободны в широких рамках в выборе своих интересов, если они могли найти необходимое финансирование».*

Дополняя это, надо отметить, что BBN также имела нужный персонал, опыт и подходящую структуру для успешного управления крупными масштабируемыми проектами вплоть до внедрения. Работы компании в области временного деления ресурсов для больниц – один из примеров того, как BBN управляла проектом с использованием передовых технологий.

Проект ARPAnet продемонстрировал все сильные стороны BBN. Когда команде даётся подходящая задача и правильные условия, модель BBN помогает достичь невероятных результатов. ARPAnet, как и лампочка Эдисона 90 лет назад, стала как полем для научных экспериментов, так и изменившей мир коммерческой технологией. Хотя коммерческий интерес и стремление к прибыли часто сбивают с курса компании, занимающиеся действительно амбициозными исследованиями, BBN в эти годы была менее подвержена этому.

Если бы в каждой научной и коммерческой сфере существовала такая, как BBN, небольшая исследовательская компания, масштабы того, что можно было бы достичь с помощью финансирования по типу ARPA, значительно расширились бы.

BBN создала такую убедительную прикладную среду для проведения

исследований, что убедила многих профессоров из MIT работать в компании. Компания точно знала, как использовать эти яркие личности. Дэйв Уолден подчёркивает, насколько важен был «естественный ум» первоначальной технической команды, к которой он присоединился, – Фрэнк Херта, Северо Орнштейна и Уилла Кроутера – для успеха проекта:

«Они умные ребята. В том, как строить сеть с пакетной коммутацией, не было много теории. Была теория коммуникаций, но она была довольно абстрактной. Всё, что теперь преподаётся на курсах по сетям и протоколам, мы в основном (как часть всего сообщества хостов) изобретали. Академический анализ часто приходил позже».

В заключение можно привести слова Фрэнк Херта, описывающего организацию в статье «Культура инноваций»:

«Прежде всего, BBN была отличным местом для технических специалистов, и большинству людей очень нравилось работать там. Это было нечто среднее между академической средой и коммерческим миром, с меритократией и индивидуальной свободой академической среды, а также возможностью получения вознаграждения и потенциалом влияния на мир коммерческих предприятий. В случае с ARPAnet и последующим взрывом сетевой активности это была исключительно уникальная возможность для технического человека “купить билет на ракету изменений в мире”».

Вклад в будущие технологии

Вклад компании BBN в создание ARPAnet оказал значительное влияние на современную инфраструктуру Интернета. Вот основные аспекты этого влияния.

Одним из ключевых достижений BBN было внедрение технологии пакетной передачи данных, которая позволила передавать информацию через сеть в виде пакетов, а не непрерывных потоков данных. Эта технология лежит в основе всех современных сетей, включая Интернет. Разделение данных на пакеты делает коммуникацию более эффективной, устойчивой к сбоям и позволяет адаптировать сети к различным типам трафика.

В процессе разработки ARPAnet команда BBN разработала алгоритмы маршрутизации, которые были важны для передачи данных по сети. Это решение позволило создать сеть, которая

могла адаптироваться к изменениям и проблемам в инфраструктуре, перенаправляя трафик через другие доступные пути. Эти принципы маршрутизации для управления трафиком и обеспечения его стабильности применяются в Интернете и сегодня.

Работая над ARPAnet, BBN разработала несколько протоколов, позднее ставших основой для стандарта TCP/IP, который лежит в основе современного Интернета. Эти протоколы обеспечивают стандартизированный способ связи между различными устройствами и сетями, что является основой функционирования глобальной сети.

В отличие от ранних попыток построить централизованные вычислительные системы, проект ARPAnet, реализованный с использованием технологии IMP (Interface Message Processor), стал основой для создания децентрализованной сети. Каждый узел сети ARPAnet имел возможность взаимодействовать с другими, что обеспечивало более гибкую и устойчивую архитектуру. Эта концепция децентрализации теперь является основой для работы Интернета, где независимые узлы и сети соединяются друг с другом посредством стандартизированных протоколов.

Вклад BBN также состоял в демонстрации потенциала использования вычислительных систем для обмена информацией между удалёнными точками. Это стало основой для развития таких технологий, как электронная почта, передача файлов и другие виды интернет-коммуникаций.

Работа BBN на ранних этапах создания ARPAnet, включая создание IMP, совершенствование сетевых протоколов и разработку инструментов для передачи данных, положила основу для нынешней интернет-архитектуры. Стандарты и технологии, созданные в процессе работы над ARPAnet, продолжали развиваться и совершенствоваться, став теми основами, на которых построен современный Интернет.

По большому счёту, BBN создала культуру, ориентированную на исследования и инновации, что позволило компании привлекать талантливых учёных и инженеров. Это стало основой для дальнейших научных и технологических достижений в области Интернета и вычислительных технологий. Таким образом, подход BBN к инновациям стал образцом для будущих научных исследований и корпоративной культуры в технологической сфере.

