

От контроля сверху к самоорганизации: оттепель и теория управления движениями

Ирина Сироткина

Ведущий научный сотрудник, Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова Российской академии наук (ИИЕТ РАН). Адрес: 125315, Москва, ул. Балтийская, 14. E-mail: isiro1@yandex.ru.

Ключевые слова: теория управления движениями; Николай Бернштейн; иерархическая модель; самоорганизация; кибернетика; Московская школа двигательного управления.

В статье рассматривается период конца 1950-х — начала 1960-х годов, отмеченный оттепелью в политике и надеждами на восстановление в стране законности и демократии. Символом научного прогресса и социальных изменений в это время стала кибернетика. Пережив тяжелые годы репрессий, советские ученые увидели в новой дисциплине, которая объединила точные науки с науками о жизни и человеке, залог построения иных, более свободных и равноправных отношений в обществе. В физиологии и психологии, где в годы сталинизма доминировала «павловская доктрина», происходила смена парадигм. Кибернетика укрепила позиции новой парадигмы, в которой на смену модели замыкания нервной связи по принципу «одно-однозначного соответствия» (или «коммутаторной доски») пришли более сложные и изощренные модели управления в живых и неживых системах.

Если ранее управление в организме понималось по схеме жесткого иерархического контроля (*top-down control*), отдачи команд от центра к периферии, то теперь к командам «сверху вниз», или от центра к периферии, добавились обратные связи от периферии к центру. Кроме этого, в новой парадигме акцент ставился на горизонтальные связи в противоположность связям вертикальным. Большое значение придавалось автономной работе нижележащих центров, а также вариативности и пластичности управления. Физиолог Николай Бернштейн показал роль обратных связей («сенсорных коррекций»), а его коллеги Виктор Гурфинкель, Израиль Гельфанд и Михаил Цетлин и их сотрудники предлагали новые модели управления. Мы предполагаем, что «демократический», скорее чем «тоталитарный», характер этих моделей отражал дух 1960-х годов — вектор на либерализацию жизни внутри страны и большую открытость СССР в международной политике.

Кибернетика и политика

«**Т**АК ВЫПЬЕМ же за кибернетикЕ!» — так косноязычно, но с большим подъемом и доверием к новой науке кибернетике произносит тост продавец шашлыков в фильме «Кавказская пленница». Всеми любимая комедия вышла в 1966 году, на излете хрущевской оттепели. Хотя к этому времени Хрущева уже сместили, эпоха еще была светлой, оптимистичной, устремленной в будущее. Сейчас 1960-е годы видятся как один из самых привлекательных периодов отечественной истории, в том числе для науки, ставшей тогда почти объектом культа. Новыми героями СМИ, театра и кинематографа сделались «физики» и «лирики», ученые-визионеры и ученые-романтики: традициям они предпочитали прогресс, конформизму — активность, спокойному размеренному существованию — поиск неизведанного. Культ науки отчасти заменил печально известный «культ личности», который, как надеялись, навсегда отошел в прошлое.

Многим из тогдашних ученых и инженеров пришлось пережить жесточайшие репрессии. Будущий председатель Научного совета по кибернетике контр-адмирал Аксель Берг был арестован в 1937 году и чудом вышел на волю перед войной. Его семья происходила из обрусевших шведов. По сообщению его коллеги по совету Елены Марковой, также репрессированной, остроумный Берг шутил и на эту тему: «Мои предки совершили путь из варяг в греки, а я — из дворян в эки!»¹ Основатель секции медицинской кибернетики в Совете академик АМН СССР Василий Парин также бывший узник ГУЛАГа. Он отморозил ноги на лесоповале в Сибири и передвигался медленно, с трудом. Сотрудники Совета, по словам Марковой, часто наблюдали такую сцену:

Статья подготовлена на основе доклада, сделанного на симпозиуме «Идеи Бернштейна в наши дни» 24 октября 2019 года. Я благодарю организаторов симпозиума Веру Талис и Алексея Чернавского, а также Елену Бирюкову за обсуждение первоначальной версии доклада.

1. *Маркова Е. В.* Эхо ГУЛАГа в Научном совете по кибернетике // *Очерки истории информатики в России / Под ред. Д. А. Поспелова, Я. И. Фета.* Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1998.

Академик Парин медленно входит в берговский кабинет, в углу которого стояла огромная пальма. Берг быстро поднимается со своего кресла, стремительно направляется навстречу Парину, крепко пожимает руку. И два бывших узника тоталитарной системы долго беседуют за длинным берговским столом, покрытым зеленой скатертью из тонкого сукна, о путях развития кибернетики².

Этот эпизод — один из ключей к причинам обращения научной интеллигенции к кибернетике: в этой науке увидели лекарство от тоталитаризма, инструмент для реформы сталинской системы. Со смертью «великого кормчего», «великого рулевого» бразды правления принимала наука, название которой происходит от греческого слова *κυβερνητικός*, означавшего «кормчий», «рулевой».

С осени 1954 года в Московском государственном университете собирался Большой семинар Алексея Ляпунова, где обсуждались вопросы кибернетики и математического моделирования процессов управления в живых и неживых системах. Модест Гаазе-Рапопорт вспоминал:

Состав участников включал не только студентов и аспирантов МГУ, но и многочисленных специалистов — математиков, биологов, инженеров, философов и др., а также писателей, журналистов, популяризаторов науки, работников научно-популярного кино; участники семинара работали в различных учреждениях Москвы, многие приезжали из других городов. Семинар отличался демократичностью: ни возраст, ни отсутствие научных «регалий» не мешали участию в дискуссии³.

После публикации русского перевода книги Норберта Винера о возможностях математики в управлении, включая управление обществом⁴, в СССР начался настоящий кибернетический бум. В январе 1959 года Президиум Академии наук поручил академику Бергу, инженеру, контр-адмиралу и ученому с огромным опытом, сформировать комиссию для подготовки развернутого аналитического доклада «Основные вопросы кибернетики». Задачу новой дисциплины Берг определил как «повышение эффектив-

2. Маркова Е. В. Эхо ГУЛАГа в Научном совете по кибернетике.

3. Гаазе-Рапопорт М. Г. О становлении кибернетики в СССР. Очерки истории информатики в России // Очерки истории информатики в России.

4. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Советское радио, 1958.

ности деятельности человека во всех случаях, когда ему необходимо осуществлять управление»⁵. Берг и его коллеги увидели преемственность между новой областью исследований и раннесоветским движением за научную организацию труда, научным подходом к управлению, сформулированным в 1920-е годы. Возглавив Научный совет по кибернетике, Берг, в числе прочих шагов, в своей статье в «Правде» упомянул одного из родоначальников научного менеджмента, основателя Центрального института труда (ЦИТ) Алексея Гастева, расстрелянного НКВД в 1939 году, тем самым продолжив его реабилитацию⁶.

По инициативе Берга в состав комиссии, наряду с восемью специалистами в области управления и шестью математиками и программистами, вошли два лингвиста и два экономиста, а также биолог и медик. Берга живо интересовали проблемы поведения живых систем и активности; активность он определял как

...способность систем к самосохранению путем самоуправления, самовоспроизведения и развития в процессе взаимодействия с изменяющейся средой⁷.

Эти положения, по мнению Дмитрия Поспелова, подготовили переход к сетевой парадигме интеллектуальных систем, в которой центр внимания сосредотачивается на проблемах самообучения и самоорганизации сетевых структур. Участник событий математик Василий Налимов отмечал:

Кибернетика тогда обрела у нас статус некоего «вольного движения», направленного против идеологической заторможенности⁸.

Сам Налимов работал в те годы над математической моделью «спонтанности сознания», то есть аутохтонной, независимой при-

5. Берг А. И. В. И. Ленин и научная организация труда // Правда. 24.10.1962.
6. Юридической реабилитации Гастева родственники добились раньше, в 1956 году. А в начале 1960-х годов, на волне подъема интереса к основам управления, сыну Алексея Гастева математику Юрию Алексеевичу и оставшимся в живых сотрудникам ЦИТ удалось переиздать книги Гастева.
7. Поспелов Д. А. Аксель Иванович Берг (К столетию со дня рождения) // История информатики в России: ученые и их школы / Под ред. В. Н. Захарова и др. М.: Наука, 2003.
8. Налимов В. В. Аксель Иванович как диссидент от науки // История информатики в России: ученые и их школы.

роды сознания человека⁹. До этого ученый восемнадцать лет провел в заключении и в ссылках (Колыма — Казахстан), а его отец, профессор МГУ, в 1939 году погиб в сыктывкарской тюрьме¹⁰. В Советском Союзе, пишет историк Слава Герович, кибернетика была чем-то большим, чем научная дисциплина: в потеплевшем политическом климате она выросла в социальное движение за радикальные реформы не только науки, но и общества¹¹.

Ожидания казались оправданными. Кибернетику рассматривали как новую парадигму, науку о сложности — о комплексных, сложных системах, — бросившую вызов механической модели вселенной¹². В механике Ньютона и Лапласа детерминистское объяснение строится по типу «причина — следствие»: если известны причины, то можно предсказывать и контролировать следствия. Тогда управление основано на знании физических законов и переменных и способности контролировать величину этих переменных; оно осуществляется из центров посредством вертикальных связей, при этом сами центры организованы иерархически, подчинены один другому. Кибернетика, напротив, исходила из того, что сложность живого мира настолько велика, что превышает возможности центрального управления. Процессы в сложных системах регулируются путем самоорганизации, горизонтальных связей, свободных потоков информации и т. д. Правда, по замечанию историка науки Лорена Грэхэма, было бы неверно считать кибернетику прямой трансляцией в науку ценностей демократического и открытого общества. Так, согласно кибернетике, барьеры, или фильтры, стоящие на пути информации, играют не меньшую роль в управлении, чем свободные информационные потоки. И все же детерминизму лапласовской механики она противопоставила понятия автономии, активности и самоорганизации¹³. Согласно Норберту Винеру, жизнь — это *саморегулирующаяся си-*

9. *Налимов В. В.* Спонтанность сознания. Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. М.: Прометей, 1989.

10. *Маркова Е. В.* Эхо ГУЛАГа в Научном совете по кибернетике.

11. *Gerovitch S.* From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics. Cambridge, MA: The MIT Press, 2002. P. 1.

12. *Грэхем Л. Р.* Естествознание, философия и науки о человеческом поведении в Советском Союзе. М.: Политиздат, 1991. С. 269.

13. Историк науки Эндрю Пикеринг ведет генеалогию понятия самоорганизации от американского симпозиума 1961 года (*Symposium on Self-Organization*, Роберт-Аллертон-Парк, 8–9 июня 1961 года) к работам Ильи Пригожина и Изабеллы Стенгерс 1980-х годов и далее, к «Тысяче плато» Жюль Делёза и Феликса Гваттари и современному автору Мануэлю Деланде, в частности его работе *Matter Matters* (2005). См.: *Pickering A.* The Cyber-

стема с нелинейным управлением. Это определение советские ученые хорошо знали уже к середине 1950-х годов, когда кибернетика еще находилась под негласным запретом¹⁴.

Новая наука привлекала поколение советских шестидесятников переходом от центрального иерархического контроля к самоуправлению, от функционирования в соответствии с программой к «низовой» активности. Физиолог Николай Бернштейн подчеркивал:

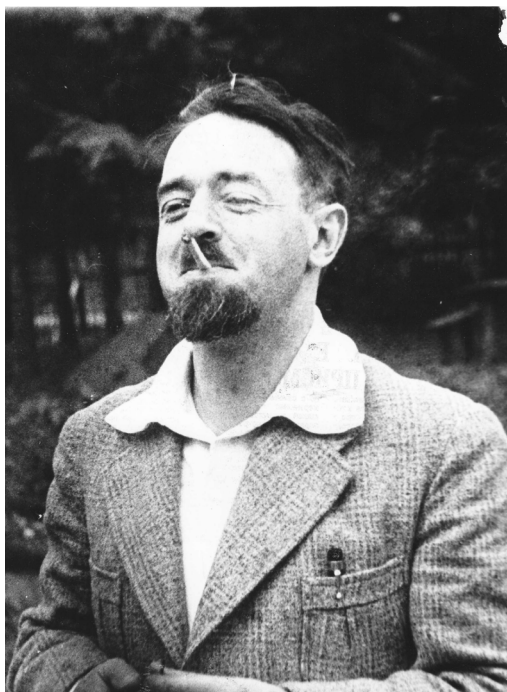
В живой организм и в его мозг *никто извне не вкладывал никакой программы*, весь процесс [превращения мозга антропоида в человеческий] совершался в порядке активной жизнедеятельности и самоорганизации¹⁵.

Винер отмечал, что в борьбе с «огромным потоком дезорганизованности, который, в соответствии со вторым законом термодинамики, стремится все свести к тепловой смерти, всеобщему равновесию и одинаковости, мы плывем вверх по течению»¹⁶. Он представлял активность как преодоление среды, целеустремленную борьбу с ней:

Люди стоят потому, что они непрерывно сопротивляются тенденции упасть вперед или назад и умеют непроизвольно компенсировать эти тенденции с помощью мускульных усилий, отклоняющих тело в обратном направлении. Равновесие человеческого тела так же, как и другие виды равновесия, наблюдаемые в живых организмах, не является статическим, а достигается за счет непрерывно протекающих процессов, активно препят-

netic Brain: Sketches of Another Future. Chicago; L.: The University of Chicago Press, 2010. P. 474.

14. Так, после знаменитого доклада математика Андрея Колмогорова «Автоматы и жизнь» (1955) об искусственном интеллекте один из слушателей прислал записку, в которой цитировал (в то время еще недоступного широкой публике) Винера. А Сергей Капица вспоминает о том, что в Институте прикладной математики им. М. В. Келдыша «видел экземпляр книги Винера с „гайкой“, то есть с цензурным знаком, запрещающим ее распространение. Тогда я прочел эту книгу в ее английском варианте. Она произвела на меня большое впечатление». См.: *Поспелов Д. А., Фет Я. И.* Колмогоров и кибернетика. Новосибирск: ИВМиМГ (ВЦ) СО РАН, 2001; *Капица С. П.* Очерк воспоминаний о кибернетике и ее творцах // История информатики в России: ученые и их школы.
15. *Бернштейн Н. А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966. С. 264. Курсив мой. — *И. С.*
16. *Винер Н. Я* — математик / Пер. с англ. Ю. С. Родман, Н. А. Зубченко. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. С. 281.



Илл. 1. Николай Бернштейн (конец 1920-х годов).

Источник: Личный архив Иосифа Фейгенберга.

ствующих развитию любой тенденции, направленной на то, чтобы его нарушить. Таким образом, стоя на месте или передвигаясь, мы непрерывно сражаемся с силами земного притяжения, а вся наша жизнь есть непрекращающаяся борьба со смертью¹⁷.

Бернштейн против Павлова

Метафора преодоления — движения против течения — прекрасно подходила и Винеру, и его советскому коллеге Николаю Бернштейну (1896–1966), который и является настоящим героем этой статьи. Оба ученых шли против течения, сохраняя во враждебной среде самые существенные для себя параметры и жертвуя несущественными, но не поступаясь ценным и важным. Винеру, с его левыми симпатиями, приходилось несладко в США эпохи маккартизма. Бернштейн в течение всей своей научной карьеры в СССР вынужден был отвечать на огульные обвинения в «механицизме», «формализме», «космополитизме», «преклонении перед

17. Винер Н. Я — математик. С. 232–233.

Западом»... После печально знаменитой кампании против «безродных космополитов», которая началась в 1949 году и продолжалась до смерти Сталина, ученый был лишен возможности работать в лаборатории. В это время он много читал и рецензировал современную литературу по биофизике, математическому моделированию и кибернетике и сам перешел к широким теоретическим обобщениям. Одним из таких обобщений стал *принцип активности*, который Бернштейн пытался распространить с целенаправленной деятельности человека на его «наиболее элементарные физиологические процессы и функции»¹⁸.

Истоки «физиологии активности» можно найти еще в исследованиях, которые молодой медик-физиолог вел в Центральном институте труда, основанном Алексеем Гастевым в начале 1920-х годов¹⁹. В ЦИТ Бернштейна пригласил однокашник, с которым они вместе осваивали медицину в Московском университете, физиолог Крикор Кекчев. Он с сотрудниками занимался физиологией труда, а Бернштейну, хорошо знавшему технику (он фотографировал, прекрасно чертил, собирал радиоприемники и делал точнейшие модели паровозов и железнодорожных вагонов), предложил заниматься регистрацией рабочих движений. Молодой медик возглавил лабораторию биомеханики, где снимали на камеру и исследовали движения слесаря — удар молотком по зубилу и опиловку напильником.

Уже через год после прихода в ЦИТ Бернштейн накопил достаточно материала, чтобы поставить главный для себя вопрос — о том, как нервная система управляет движениями²⁰. Он пришел к выводу, что ни одна физиологическая теория, включая теорию условных рефлексов, не может объяснить, как осуществляется сложнейшая координация при совершении движений человека. Теория Ивана Павлова, созданная для объяснения слюноотделения у собак, вряд ли могла объяснить произвольные и целенаправленные движения. Различия взглядов Бернштейна и Павлова во многом обусловлены различными предметами исследования. В экспериментах по выработке условных рефлексов животное обездвигивалось, закреплялось в специальном станке,

18. Бассин Ф. В. О подлинном значении нейрофизиологических концепций Н. А. Бернштейна // Вопросы философии. 1967. № 11. С. 71–72.

19. Сироткина И. Е. Мир как живое движение: Интеллектуальная биография Николая Бернштейна / Отв. ред. А. Г. Асмолов. М.: Когито-Центр, 2018.

20. Бернштейн Н. А. Исследования по биомеханике удара с помощью световой записи // Исследования Центрального Института труда. 1923. № 1. С. 19–79.



Илл. 2. Николай Бернштейн (второй слева) с коллегами в Институте физкультуры (1949).

Источник: Личный архив Иосифа Фейгенберга.

помещалось в изолированную тихую комнату — «башню молчания». А потому и реакции его были «условными» — искусственными, невалидными в естественных условиях. Кроме того, по сравнению с работой слюнной железы моторика человека представлялась Бернштейну превосходным, многообещающим индикатором для изучения процессов в центральной нервной системе.

Так и оказалось: изучение целенаправленных движений человека позволило создать гораздо более изощренные модели управления, которые впоследствии оказались сродни кибернетическим. Согласно теории Бернштейна, движение строится в ответ на определенную задачу, каждый раз заново, путем постоянного учета информации с периферии — обратных связей, или «сенсорных коррекций». Человеческое движение, таким образом, гораздо сложнее, чем механический акт или рефлекторный ответ на раздражитель, и скорее похоже на акт интеллектуальный, напоминающий решение (двигательной) задачи. За последующие три десятилетия Бернштейн получает и публикует доказательства этой теории, в том числе книгу «О построении движений»²¹ (отмечена

21. Бернштейн Н. А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947.

Государственной премией II степени за 1947 год, тогда называвшейся Сталинской). За этим последовала опала, но с началом оттепели наступил новый подъем, и к Бернштейну пришло международное признание.

В апреле 1957 года Бернштейн выступил на семинаре Ляпунова с докладом «О координации движений у человека и высших организмов»; обсуждение продолжилось и на следующем заседании. В 1963–1964 годах вышло несколько его статей, рецензий на книги и предисловия к работам по кибернетике²². А в ноябре 1965 года в Москве, в Институте физкультуры (ГЦОЛИФК), открылась конференция «Кибернетика и спорт», на которой ученого приветствовали как триумфатора. Один из участников вспоминал:

Свободных мест в зале нет. Кибернетика никого не оставляет равнодушным. <...> Председательствующий — А.Д. Новиков — предоставляет вступительное слово Николаю Александровичу Бернштейну. Тот не спеша встает и, несколько сутулясь, медленно идет к трибуне. Ничто не нарушает тишины, все замерло. Более 600 присутствующих следят за больным человеком, стоящим на трибуне и, как бы чего-то опасаясь, напряженно вглядывающимся в зал. Пауза затягивается... И вдруг где-то в глубине зала раздается робкий, как бы боящийся наказания за дерзость, хлопок. За ним еще один, еще, еще... — и зал не весь разом, как это было принято для приветствия вождей и героев, а постепенно высвобождая сжатую пружину своих долгов сдерживаемых чувств, взрывается аплодисментами²³.

В чем же современники видели триумф Бернштейна и над кем была эта победа? На Всесоюзном совещании по философским вопросам физиологии высшей нервной деятельности и психологии в 1962 году ученый одним из первых выступил против «павловской доктрины» — теории условных рефлексов²⁴. На беду для науки, во время патриотической кампании Сталина — борьбы про-

22. Бернштейн Н. А. Биологические прототипы и синтетические модели // Новые книги за рубежом. 1963. Т. 1. № 5. С. 38–41; Он же. Биотелеметрия: применение телеметрии к изучению поведения животных, их физиологии и экологии // Новые книги за рубежом. 1963. Т. 1. № 12. С. 38–41; Он же. О перспективах математики в биокибернетике // Черныш В. И., Напалков А. В. Математический аппарат биологической кибернетики. М.: Медицина, 1964. С. 3–30.

23. Верхошанский Ю. В. Несколько штрихов к портрету ученого // Теория и практика физической культуры. 1991. № 3. С. 47–48.

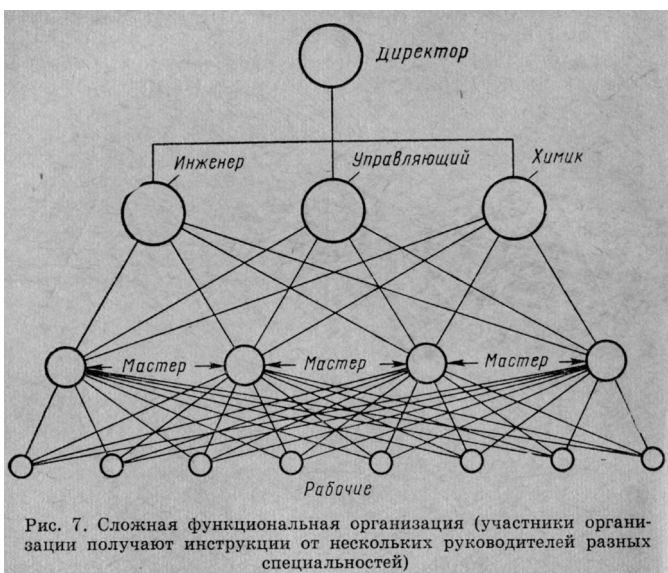
24. Сознание. Материалы обсуждения проблемы сознания на симпозиуме, состоявшемся 1–3 июня 1966 г. М.: б. и., 1967. С. 226–227.

тив «космополитов» и «преклонения перед Западом» — Павлова сделали показательным «великим отечественным ученым», и всякая критика его теорий была запрещена. Бернштейн, однако, от своей критической позиции, которую занял еще в 1920-е годы, не отказывался никогда. И теперь коллеги, чувствовавшие на себе тяжелую длань партийного контроля, которая пользовалась именем Павлова, как кнутом, вознаградили Бернштейна за стойкость.

Если теория условных рефлексов, утверждал Бернштейн, исходила пассивный организм исходя из «уравновешивания организма с окружающей средой», то новая «физиология активности» исследует организм, который эту среду преодолевает²⁵. Еще важнее было то, что с окончанием господства теории условных рефлексов в физиологию вводились новые модели нервного управления. Бернштейн особенно в этом преуспел. В теории условных рефлексов модель только одна — односторонние команды из центра на периферию. В начале XX века ее сравнивали с коммутаторной доской — устройством, с помощью которого телефонистка на центральной телефонной станции принимает звонки абонентов и соединяет их с теми, кому они звонят. В этом случае мозг — «телефонистка за коммутатором», а способ управления — прямая передача звонков-команд из центра на периферию. Показав ограниченность такой модели, Бернштейн дополнил ее обратными связями от периферии к центру. Модель «рефлекторного кольца» появилась у него уже в конце 1920-х — начале 1930-х годов, тогда же возник термин «сенсорные коррекции», предвосхитивший кибернетическое понятие «обратных связей».

При личной встрече с Норбертом Винером в 1960 году (они вместе с Александром Лурия переводили доклад американского ученого) Бернштейн подарил Винеру свою статью 1935 года, где, *avant la lettre* (до появления термина), шла речь об «обратных связях». В новой модели управления центр не просто отдает команды, а получает обратную связь с периферии, так что центральные программы постоянно корректируются (на илл. 4 это стрелки, идущие по окружности). Более того, утверждали Бернштейн и кибернетики, центральных команд самих по себе недостаточно для успешного совершения движения, поскольку ситуация на периферии меняется настолько, что ее невозможно предусмотреть.

25. Бернштейн Н. А. Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой // Философские вопросы физиологии высшей нервной деятельности и психологии. М.: АН СССР, 1963. С. 299–322.



Илл. 3. Командно-иерархическая модель управления, включающая разветвленные связи и относительную автономию нижестоящих центров.

Источник: Керженцев П. М. Принципы организации. М., 1921.

Поэтому, кроме «задающего прибора» (блок 2 на илл. 4), должен быть «прибор сличения» (блок 4), который постоянно сравнивает складывающуюся на периферии ситуацию с заданной программой, модулирует ее (блок перешифровок 5 и регулятор 6) и только потом отправляет в исполнительный орган (эффектор 7).

Бернштейн не только обладал прекрасной математической подготовкой, он и мыслил как математик, переводя сложные явления в «простые» и изящные теоретические идеи. Критикуя старые модели, в частности «вторую сигнальную систему» по Павлову и лежащий в ее основе принцип «одно-однозначного [или взаимно-однозначного] соответствия» (в данном случае — между словами языка и ответственными за них нервными клетками), он показывал, насколько ушла вперед математика в моделировании процессов жизни, насколько больше свободы она может предоставить биологии. Журнал «Вопросы психологии» первым нарушил заговор молчания вокруг ученого, напечатав в 1957 году его статью «Некоторые назревающие проблемы регуляции двигательных актов». Как месье Журден у Мольера, Бернштейн «говорил прозой», не подозревая об этом, точнее, мыслил понятиями систем и общими принципами управления, но не формулировал это таким образом. Познакомившись с кибернетикой, он немедленно почувство-

либ писали, что фундаментальные вопросы, поднятые Бернштейном в 1962 году, «остаются столь же фундаментальными и столь же нерешенными двадцать лет спустя». Они предполагали тогда, что эти вопросы будут определять пути исследований и в следующие двадцать лет²⁹. Так и произошло. Идеи Бернштейна заложили фундамент *motor control studies* — области исследований, находящейся в авангарде технонауки.

Moscow Motor School

После 1953 года Бернштейн вышел на пенсию, нигде не работал, а зарабатывал рецензированием литературы для реферативных журналов. Руководство диссертациями официально тоже не осуществлял, но неофициально консультировал и помогал многим исследователям. В конце 1950-х — начале 1960-х годов стали появляться его аналитические статьи, обогащенные знанием новейшей литературы, в том числе по кибернетике³⁰. Эти работы задавали новое проблемное поле, тогда как в старых предлагалась одна из наиболее эвристичных для того времени концепций двигательного управления. В период оттепели и те и другие оказались востребованы у научного сообщества, включавшего представителей находившихся в процессе становления нейро- и когнитивных наук; эти последние и образовали научную школу (или, если угодно, «незримый колледж»), известную в литературе как *Moscow Motor School* (Московская школа двигательного управления). «Московская» — несмотря на то, что с тех пор многих ее участников разбросало по свету³¹. К этой школе-диаспоре принадлежат ученые, развивающие идеи Бернштейна о двигательном управлении. Большинство из них в 1960-е и 1970-е годы были также участниками известного в Москве семинара под руководством математика Израила Гельфанда³².

29. Agarwail G. C., Gottlieb G. L. Control Theory and Cybernetic Aspects of Motor Systems // Human Motor Action: Bernstein Reassessed / H. T. A. Whiting (ed.). Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 568.

30. См., напр.: Бернштейн Н. А. Очередные проблемы физиологии активности // Проблемы кибернетики. 1961. Вып. 6. С. 101–160.

31. Александр Асмолов предлагает вместо «школы» говорить о «диаспоре» прямых и «внучатых» учеников Бернштейна (личное сообщение).

32. Гурфинкель В. С., Фейгенберг И. М. Становление и развитие школы Н. А. Бернштейна // Физиологические научные школы в СССР: Очерки / Под ред. Н. П. Бехтеревой. Л.: Наука, 1988. С. 247–254; Фейгенберг И. М. Николай Бернштейн: от рефлекса к модели будущего. М.: Смысл, 2004; Gerovitch S. Creative Discomfort: The Culture of the Gelfand Seminar at Mos-

Одной из центральных для школы на долгое время стала так называемая *проблема Бернштейна* — о том, что *степеней свободы* у движущегося органа слишком много, и, чтобы сделать его управляемым, нервная система должна это число уменьшить. Несмотря на красивое звучание, «степень свободы» — термин из механики. Он означает количество возможных перемещений органа в пространстве и, следовательно, число параметров, относительно которых осуществляется управление. Однако биомеханический термин этот прекрасно рифмовался с духом оттепели и мог бы считаться ее метафорой. Что касается решения самой проблемы Бернштейна, то, как предполагал ученый, нервная система решает проблему путем связывания излишних степеней свободы. Это может достигаться разными способами. Например, когда двигательный навык еще не сформирован и движение выполняется «неумело», управляющая система фиксирует «лишние» сочленения. Другой способ сокращения степеней свободы — разбить все участвующие в движении суставы и мышцы на небольшое число связанных групп, или *синергий*, и тогда для управления каждой из них достаточно одной степени свободы управляющей системы. Существование синергий было затем подтверждено идейными учениками Бернштейна в конкретном физиологическом исследовании.

Исследуя локомоцию мезэнцефалической кошки (у которой ампутирована кора больших полушарий и сохранен только средний мозг), Марк Шик с коллегами обнаружили промежуточный центр управления движениями — так называемую локомоторную область в стволовом отделе мозга³³. Авторы добились значительного методического успеха, создав возможность изучать физиологические механизмы локомоции не на обездвиженном, а на нормально движущемся животном. Было показано, что во время локомоции управление мускулатурой конечности достигается тем, что разные элементы системы связываются между собой — образуются «функциональные синергии». В результате конечность становится не только единой, но и *автономной*. Шагательное движение обеспечивается собственным механизмом управления, а роль нисходящих влияний заключается лишь в «настройке» — переводе

cow University // *Mathematical Cultures: The London Meetings, 2012–2014 (Trends in the History of Science)* / B. Larvor (ed.). Switzerland: Springer, 2016. P. 51–70.

33. Орловский Г.Н. и др. Локомоция, вызываемая стимуляцией среднего мозга // Доклады АН СССР. 1966. Т. 169. Вып. 5. С. 1223–1226.

этого механизма в определенное функциональное состояние. Активация локомоторной области непосредственно влияет только на развиваемую мышцами мощность, тогда как, например, длительность их работы зависит от собственной афферентации, приходящей от конечности. С «точки зрения» локомоторной области, считал Шик, конечность обладает всего одной степенью свободы, другие же параметры *автоматически* принимают значения в соответствии со скоростью передвижения животного³⁴. Иными словами, роль локомоторного центра заключается не в оперативном управлении работой каждой из мышц, участвующих в локомоции, а в такой организации всей управляющей системы, при которой не требуется индивидуального управления множеством элементов двигательного аппарата. Говоря об автоматизме, уместно вспомнить, что греческое слово *αὐτόματον* означает «действующий по собственной воле», независимо, автономно. Автономно, относительно независимо друг от друга и от центральной инстанции могут функционировать и отдельные части нервной системы.

Но вернемся к «проблеме Берншейна» и другим ее решениям. Еще один способ уменьшить число степеней свободы, то есть параметров, относительно которых осуществляется управление, — разделить их на *существенные* и *несущественные*. Этот способ был найден при попытке решить кибернетическую задачу о достижении цели в меняющейся среде. Эта задача близка математической задаче об отыскании минимума нестационарной функции многих переменных. В задачах такого рода необходим поиск, в ходе которого обеспечивается как продвижение к цели, так и получение необходимой информации для дальнейших поисков. Решение состояло в том, чтобы обеспечить успешность поиска за счет особой организации, выделения существенных параметров функции. Открытие Гельфандом и Цетлиным так называемых *хорошо организованных функций* с параметрами двух типов — существенными и несущественными — позволяло моделировать процесс управления в системе, число рабочих параметров которой чрезвычайно велико³⁵. Исследователи предпо-

34. Шик М. Л. и др. Локомоция мезэнцефалической кошки, вызываемая стимуляцией пирамид // Биофизика. 1968. Вып. 13. С. 127–135; Шик М. Л. Управление наземной локомоцией млекопитающих животных // Физиология движения / Под ред. М. А. Алексева, В. С. Гурфинкеля. Л.: Наука, 1976. С. 234–275.

35. Гельфанд И. М., Цетлин М. Л. О некоторых способах управления сложными системами // Успехи математических наук. 1962. Т. 17. Вып. 1. С. 3–25; Они же. О математическом моделировании механизмов центральной нерв-

ложили, что в такой системе управление происходит за счет ее *самоорганизации* — выделения существенных и несущественных параметров, выдвижения поисковых гипотез и применения соответствующих тактик. Несущественные параметры

...способны вызывать резкие изменения и скачки значений функции на небольших отрезках времени, однако не оказывают влияния на длительных интервалах: не изменяют экстремумов и иных характеристик функции. Существенные же аргументы сравнительно слабо (по сравнению с несущественными) влияют на небольших интервалах, в конечном же итоге вызывают мощные изменения как в протекании функциональной зависимости, так и в конечном результате³⁶.

В том, что касается несущественных параметров, организм склонен к приспособлению, а к воздействию существенных оказывается «жестким», дабы сохранить свое бытие, продолжение рода и вида. В первом случае имеет место рефлекторная деятельность, а во втором — активное, целенаправленное воздействие организма на среду обитания. Бернштейн к идее хорошо организованных функций относился с большим интересом, следил за развитием исследований коллег и сам предлагал новые идеи, полезные для уточнения принципов работы мозга³⁷.

Гельфанд и Цетлин задались вопросом: если все нервные центры работают вместе, по каким принципам работает каждый отдельный центр? какова мера его автономности и какими способами он управляется? Авторы опирались на представления Бернштейна о том, что нервные центры, считающиеся «низшими», не просто реализуют сформированную «вышними» центрами программу, а непосредственно руководят движением. Предложенный ими *принцип неиндивидуализированного управления* исполь-

ной системы // Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем / Под ред. И. М. Гельфанда. М.: Наука, 1966. С. 9–26.

36. Демидов В. Е. У истоков физиологии активности. Николай Александрович Бернштейн и развитие отечественных биокibernетических исследований // Очерки истории информатики в России.

37. Бернштейн Н. А. О перспективах математики в биокibernетике // Черныш В. И., Напалков А. В. Математический аппарат биологической кибернетики. С. 3–30; Бернштейн Н. А. и др. Проблема функциональной организации мозга человека в свете данных современной экспериментальной и клинической нейрофизиологии // X Съезд Всесоюзного физиологического общества им. И. П. Павлова. Рефераты докладов. Т. 1. М.; Л.: ГИЗ, 1964. С. 122–123.

зовался, в частности, при моделировании механизмов поддержания позы³⁸. Вячеслав Иванов, лично знавший и Цетлина, и Бернштейна, в своей «Истории кибернетики в СССР» подчеркивает связь их научных интересов с тем, что происходило в обществе. Гуманитарные и гражданские интересы Цетлина и его работы по теории игр автоматов не были разными сферами его деятельности, считает он:

Социальная структура человеческого общества, вопросы организации которой особенно остро волновали Михаила Львовича в последние годы его жизни, когда он работал над теорией коллективного поведения автоматов. Он стремился построить теорию систем, состоящих из «живых» частей, то есть таких систем, каждый участник которых обменивается информацией с другими и решает свою собственную задачу, более простую, чем та, которую решает весь коллектив. Теория игр автоматов была для него частным примером такой общей теории. Одним из практических приложений идей М.Л. Цетлина явилась разработанная при его участии система децентрализованного управления телефонными сетями³⁹.

Виктор Гурфинкель, защитивший кандидатскую диссертацию в НИИ протезирования под неформальным руководством Бернштейна, был активным участником и соорганизатором семинара Гельфанда. В 1961 году вместе с Цетлиным они создали в Институте биофизики теоретический отдел, которым заведовал Гельфанд, а Гурфинкель возглавил одну из двух групп. В работе «Стояние здоровых людей и протезированных после ампутации нижних конечностей» (его докторской диссертации)⁴⁰ Гурфинкель с коллегами экспериментально показали, что основная роль головного мозга при управлении позной активностью состоит не в непосредственном управлении активностью той или иной мышцы, а в соответствующей функциональной перестройке системы взаимодействия мышц. По их мнению, механизмы позной активности образуют многоуровневую систему: нижний уровень представлен

38. Цетлин М. Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М.: Наука, 1969.

39. Иванов В. В. Из истории кибернетики в СССР. Очерк жизни и деятельности М. Л. Цетлина // Очерки истории информатики в России.

40. Талис В. Л. История создания лаборатории № 9 (по воспоминаниям М. Б. Беркинблита). В Институте биофизики // Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича РАН. URL: <http://iitp.ru/ru/user-pages/53/157.htm>.

сегментарным аппаратом спинного мозга, а высший — суставными рецепторами, зрительным анализатором, вестибулярным аппаратом, причем высший уровень регулирует лишь некоторые параметры работы низшего, функционирующего *автоматически*.

Один из участников семинара Гельфанда и сотрудник Гурфинкеля, Яков Коц, установил, что самостоятельность, или автономность, сегментарного уровня управления движениями по отношению к супраспинальным влияниям проявляется, в частности, в способности этого сегмента лимитировать частоту вмешательства высшего уровня в свою работу. Доказательством этого служили обнаруженные исследователем *такты движения*. Деятельность низовых центров представлена ученым как *поведение коллектива автоматов*, каждый из которых работает автономно для достижения своей частной задачи и при этом вносит вклад в решение общей цели. Такой частной задачей, предположил Коц, может выступать минимизация направляющихся в центр движения афферентных сигналов. При этом высшая инстанция освобождается от управления каждой степенью свободы и способна руководить промежуточным центром с помощью настройки одного-двух параметров. Это физиологический механизм, который предположительно отвечает за неиндивидуализированное управление.

В новой парадигме модель жесткого контроля, команд, идущих от центра к периферии, сменилась идеей *гибкого, вариативного* управления. Мало того, что при совершении движений нервная система каждый раз выбирает из всех возможных способов осуществления движения только один способ, — он, этот способ, каждый раз оказывается иным, новым⁴¹. Юрий Аршавский с соавторами использовали для обозначения разных видов вариативности понятия *двигательной константности* и *двигательной эквивалентности*⁴². *Константность* — это способность управляющей системы достигать одной и той же цели посредством разных стратегий, зависящих от изменения внешних условий. *Эквивалентность* — такая особенность управляющей системы, когда она может генерировать разные стратегии движения даже при неизменных внешних условиях. Исследователи предположили, что в основе этих видов вариативности лежит *пластичность цен-*

41. Latash M. L. Structured Variability as a Signature of Biological Processes.

42. Аршавский Ю. И. и др. Различия в работе спинно-мозжечковых трактов при искусственном раздражении и при локомоции // Механизмы объединения нейронов в нервном центре / Под ред. П. Г. Костюка. Л.: Наука, 1974. С. 99–104.

тральных моторных программ. Механизмы пластичности — имитация внешних влияний путем центральной регуляции параметров рефлекса (*параметризация*) и составленность программы из нескольких подпрограмм, или динамических блоков. Было экспериментально доказано, что в осуществлении даже такого элементарного движения, как рефлекс стряхивания децеребрированной лягушки, задействованы оба этих механизма.

Еще Бернштейн объяснял механизм образования двигательного навыка передачей определенного типа сенсорных коррекций с вышележащего уровня построения движений на нижележащий. Это похоже на «делегацию полномочий» от центра вниз, нижележащим уровням, которые с этого момента начинают функционировать автономно:

Постепенная передача координационных коррекций технического значения на управление нижележащих, подчиненных координационных уровней и соответствующих сенсорных синтезов, сопровождаемая уходом этих коррекций из поля сознания, есть давно и хорошо известное явление автоматизации⁴³.

Так, не отменяя иерархии центров, он включил в модель двигательного управления принцип «передачи полномочий» от вышележащих центров к нижележащим, принцип автономного, независимого функционирования и принцип обратных связей от периферии.

Итак, идеи неиндивидуализированного управления, передачи контроля нижележащим уровням, гибкости и пластичности управляющей программы — именно их новое поколение исследователей противопоставило командно-иерархической модели, которая долгое время доминировала не только в павловской физиологии, но и в советском обществе в целом. Уже сформулированные применительно к движениям организма, новые модели, основанные на самоорганизации и автономном управлении, за время оттепели окончательно оформились и получили поддержку извне, со стороны кибернетики. А в конце 1980-х годов эти модели получили подкрепление от теории (искусственных) *нейронных сетей* — математических моделей нового класса, где отсутствует представление об иерархическом контроле. Одна из таких моделей — *самоорганизующаяся карта*, названная по имени создателя, финского специалиста по искусственному интеллекту

43. Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. С. 311.

Теуво Кохонена, — представляет собой соревновательную нейронную сеть с обучением без учителя⁴⁴.

Вернемся в годы оттепели. Во второй половине 1950-х годов Бернштейн консультировал участников проекта по созданию первого в мире протеза руки с биоэлектрическим управлением⁴⁵. Система, которую предложили Гурфинкель и Цетлин,

... представляла собой сервопривод, управляемый биопотенциалами скелетных мышц. В сервоприводе использована идея, согласно которой можно сократить длину управляющей цепочки, воспользовавшись такими характеристиками возбуждения мышцы, получаемыми с помощью электромиографии, как мгновенное значение мощности биопотенциалов мышцы⁴⁶.

Сейчас биоуправляемые протезы, прототипы самодвижущихся устройств и робототехника в целом продвинулись до невиданного уровня, о каком во времена Бернштейна нельзя было и мечтать. И тем не менее не стоит забывать о том, *как* всё начиналось, — об оттепели, когда словно отворились окна и в отечественную науку проник наконец свежий воздух.

Итак, считать ли простым совпадением либерализацию режима, с одной стороны, и смену парадигм в управлении (переход с иерархических моделей на сетевые, с управления на основе одних только центральных команд на регуляцию по принципу обратных связей) — с другой? Или же за этим стоит нечто большее? В истории трудно делать заключения о причинно-следственных связях (дебаты, например, о том, что считать причинами Первой мировой войны или Октябрьской революции, растянулись на многие десятилетия). Вместо этого историки науки, как и историки в целом, предпочитают события описывать, иногда проводя между ними параллели и аналогии. А в истории науки тем более осторожно принято строить выводы о прямом влиянии социального контекста на содержание знания.

Хотя называть научные модели «тоталитарными» или «демократическими» можно только условно — метафорически, некоторые параллели все же стоит провести. Жесткий политиче-

44. Kohonen T. Self-Organizing Maps. 3rd extended ed. N.Y.: Springer, 2001.

45. Кобринский А. Е. и др. Биоэлектрическая система управления // Доклады АН СССР. 1957. Т. 117. Вып. 1. С. 78–80; Левин В. И. М. Л. Цетлин и развитие математического моделирования в СССР // Вестник российских университетов. Математика. 2015. Т. 20. Вып. 6. С. 1834–1839.

46. Иванов В. В. Из истории кибернетики в СССР.

ский контроль над советской наукой в 1930–1950-е годы привел к тому, что ее развитие во многом шло подспудно, работы писались «в стол», а новые теории долго ждали своей очереди, чтобы сменить отжившие, но «политически корректные». Так обстояло дело с теорией условных рефлексов, которая, по крайней мере в том, что касается организации движения, к середине прошлого века уже давно устарела. Тем не менее Павлов по-прежнему оставался научной иконой, и критика его теорий запрещалась. В период оттепели лед треснул, изоляция советских ученых прекратилась, и новые парадигмы в науке получили шанс. Для инновационной теории Бернштейна о построении движений дополнительным стимулом стала кибернетика — дисциплина, которая позволяла по-новому взглянуть на управление и организацию в масштабах как организма, так и всей страны.

Библиография

- Аршавский Ю. И., Беркинблит М. Б., Гельфанд И. М., Орловский Г. Н., Фуксон О. И. Различия в работе спинно-мозжечковых трактов при искусственном раздражении и при локомоции // Механизмы объединения нейронов в нервном центре / Под ред. П. Г. Костюка. Л.: Наука, 1974. С. 99–104.
- Бассин Ф. В. О подлинном значении нейрофизиологических концепций Н. А. Бернштейна // Вопросы философии. 1967. № 11. С. 71–72.
- Берг А. И. В. И. Ленин и научная организация труда // Правда. 24.10.1962.
- Бернштейн Н. А. Биологические прототипы и синтетические модели // Новые книги за рубежом. 1963. Т. 1. № 5. С. 38–41.
- Бернштейн Н. А. Биотелеметрия: применение телеметрии к изучению поведения животных, их физиологии и экологии // Новые книги за рубежом. 1963. Т. 1. № 12. С. 38–41.
- Бернштейн Н. А. Исследования по биомеханике удара с помощью световой записи // Исследования Центрального Института труда. 1923. № 1. С. 19–79.
- Бернштейн Н. А. Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой // Философские вопросы физиологии высшей нервной деятельности и психологии. М.: АН СССР, 1963. С. 299–322.
- Бернштейн Н. А. О перспективах математики в биокибернетике // Черныш В. И., Напалков А. В. Математический аппарат биологической кибернетики. М.: Медицина, 1964. С. 3–30.
- Бернштейн Н. А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947.
- Бернштейн Н. А. Очередные проблемы физиологии активности // Проблемы кибернетики. 1961. Вып. 6. С. 101–160.
- Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966.
- Бернштейн Н. А., Бассин Ф. В., Лагаш Л. П. Проблема функциональной организации мозга человека в свете данных современной экспериментальной и клинической нейрофизиологии // X Съезд Всесоюзного физиологического общества им. И. П. Павлова. Рефераты докладов. Т. 1. М.; Л.: ГИЗ, 1964. С. 122–123.

- Верхошанский Ю. В. Несколько штрихов к портрету ученого // Теория и практика физической культуры. 1991. № 3. С. 47–48.
- Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Советское радио, 1958.
- Винер Н. Я — математик. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001.
- Гаазе-Рапопорт М. Г. О становлении кибернетики в СССР. Очерки истории информатики в России // Очерки истории информатики в России / Под ред. Д. А. Поспелова, Я. И. Фета. Новосибирск: ОИГТМ СО РАН, 1998.
- Гельфанд И. М., Цетлин М. Л. О математическом моделировании механизмов центральной нервной системы // Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем / Под ред. И. М. Гельфанда. М.: Наука, 1966. С. 9–26.
- Гельфанд И. М., Цетлин М. Л. О некоторых способах управления сложными системами // Успехи математических наук. 1962. Т. 17. Вып. 1. С. 3–25.
- Грэхем Л. Р. Естествознание, философия и науки о человеческом поведении в Советском Союзе. М.: Политиздат, 1991.
- Гурфинкель В. С., Фейгенберг И. М. Становление и развитие школы Н. А. Бернштейна // Физиологические научные школы в СССР: Очерки / Под ред. Н. П. Бехтеревой. Л.: Наука, 1988. С. 247–254.
- Делёз Ж., Гваттари Ф. Тысяча плато: Капитализм и шизофрения. Екатеринбург: У-Фактория, 2010.
- Демидов В. Е. У истоков физиологии активности. Николай Александрович Бернштейн и развитие отечественных биокибернетических исследований // Очерки истории информатики в России / Под ред. Д. А. Поспелова, Я. И. Фета. Новосибирск: ОИГТМ СО РАН, 1998.
- Иванов В. В. Из истории кибернетики в СССР. Очерк жизни и деятельности М. Л. Цетлина // Очерки истории информатики в России / Под ред. Д. А. Поспелова, Я. И. Фета. Новосибирск: ОИГТМ СО РАН, 1998.
- Капица С. П. Очерк воспоминаний о кибернетике и ее творцах // История информатики в России: ученые и их школы / Под ред. В. Н. Захарова, Р. И. Подловченко, Я. И. Фета. М.: Наука, 2003.
- Кобринский А. Е., Брейдо М. Г., Гурфинкель В. С., Сысин А. Я., Цетлин М. Л., Якобсон Я. С. Биоэлектрическая система управления // Доклады АН СССР. 1957. Т. 117. Вып. 1. С. 78–80.
- Левин В. И. М. Л. Цетлин и развитие математического моделирования в СССР // Вестник российских университетов. Математика. 2015. Т. 20. Вып. 6. С. 1834–1839.
- Маркова Е. В. Эхо ГУЛАГа в Научном совете по кибернетике // Очерки истории информатики в России / Под ред. Д. А. Поспелова, Я. И. Фета. Новосибирск: ОИГТМ СО РАН, 1998.
- Налимов В. В. Аксель Иванович как диссидент от науки // История информатики в России: ученые и их школы / Под ред. В. Н. Захарова, Р. И. Подловченко, Я. И. Фета. М.: Наука, 2003.
- Налимов В. В. Спонтанность сознания. Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. М.: Прометей, 1989.
- Орловский Г. Н., Северин Ф. В., Шик М. Л. Локомоция, вызываемая стимуляцией среднего мозга // Доклады АН СССР. 1966. Т. 169. Вып. 5. С. 1223–1226.
- Поспелов Д. А. Аксель Иванович Берг (К столетию со дня рождения) // История информатики в России: ученые и их школы / Под ред. В. Н. Захарова, Р. И. Подловченко, Я. И. Фета. М.: Наука, 2003.

- Поспелов Д. А., Фет Я. И. Колмогоров и кибернетика. Новосибирск: ИВМиМГ (ВЦ) СО РАН, 2001.
- Сироткина И. Е. Мир как живое движение: Интеллектуальная биография Николая Бернштейна / Отв. ред. А. Г. Асмолов. М.: Когито-Центр, 2018.
- Сознание. Материалы обсуждения проблемы сознания на симпозиуме, состоявшемся 1–3 июня 1966 г. М.: б. и., 1967.
- Талис В. Л. История создания лаборатории № 9 (по воспоминаниям М. Б. Беркинблита). В Институте биофизики // Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича РАН. URL: <http://iitp.ru/ru/userpages/53/157.htm>.
- Фейгенберг И. М. Николай Бернштейн: от рефлекса к модели будущего. М.: Смысл, 2004.
- Цетлин М. Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М.: Наука, 1969.
- Шик М. Л. Управление наземной локомоцией млекопитающих животных // Физиология движения / Под ред. М. А. Алексеева, В. С. Гурфинкеля. Л.: Наука, 1976. С. 234–275.
- Шик М. Л., Орловский Г. Н., Северин Ф. В. Локомоция мезенцефалической кошки, вызываемая стимуляцией пирамид // Биофизика. 1968. Вып. 13. С. 127–135.
- Agarwal G. C., Gottlieb G. L. Control Theory and Cybernetic Aspects of Motor Systems // Human Motor Action: Bernstein Reassessed / H. T. A. Whiting (ed.). Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 563–570.
- DeLanda M. Matter Matters // Domus Magazine. 2005–2007. № 884–991.
- Gerovitch S. Creative Discomfort: The Culture of the Gelfand Seminar at Moscow University // Mathematical Cultures: The London Meetings, 2012–2014 (Trends in the History of Science) / B. Larvor (ed.). Switzerland: Springer, 2016. P. 51–70.
- Gerovitch S. From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics. Cambridge, MA: The MIT Press, 2002.
- Kohonen T. Self-Organizing Maps. 3rd extended ed. N.Y.: Springer, 2001.
- Latash M. L. Structured Variability as a Signature of Biological Processes // Вопросы психологии. 2016. № 3. С. 120–126.
- Pickering A. The Cybernetic Brain: Sketches of Another Future. Chicago, L.: The University of Chicago Press, 2010.
- Progress in Motor Control: Bernstein's Traditions in Movement Studies / M. L. Latash (ed.). Urbana, IL: Human Kinetics, 1998.

FROM TOP-DOWN CONTROL TO SELF-ORGANIZATION: THE “THAW” AND MOTOR ACTION THEORY

IRINA SIROTKINA. Leading Research Fellow, isiro1@yandex.ru.

S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences (IHST RAS), 14 Baltiyskaya St., Moscow 125315, Russia.

Keywords: motor action theory; Nikolay Bernstein; top-down control; self-organization; cybernetics; Moscow Motor School.

The period from the late 1950s to the mid-1960s in the Soviet Union was known as the “Thaw,” a political era that fostered hopes of restoring the rule of law and democracy to the country. In that period cybernetics came to symbolize both scientific progress and social change. The Soviet intelligentsia had survived the hardship of Stalinist repression and now regarded the new discipline, which brought together the natural sciences and the human sciences, as a pathway to building a freer and more equal society. After decades of domination by Pavlovian doctrine, a paradigm shift was under way in physiology and psychology. Cybernetics reinforced the new paradigm, which put forward ideas of purposive behavior and self-organization in living and non-living systems. The conditioned reflex and a simplistic one-to-one view of connections in the nervous system gave way to more sophisticated and complex models, which could be formalized mathematically. Previous models of control in living organisms were mostly hierarchical and included top-down control of peripheral movement by the motor centers. The new models supplemented this picture with feedback commands from the periphery to the center.

By the time cybernetics had made its appearance in the Soviet Union, new models of control had already been formulated in physiology by Nikolay Bernstein (1896–1966). He termed the feedback from afferent signals “sensorial corrections,” meaning that they play an important part in adapting central control to the changing situation at the periphery of movement. The new paradigm emphasized horizontal connections over vertical ones, and new models took hold based on less “totalitarian” and more “democratic” principles, such as the idea of automatic or autonomous functioning of intermediate centers, the mathematical concept of well-organized functions, the theory of “the collective behavior of automata,” etc. This line of research was carried out in the USSR as well as abroad by Bernstein’s students and followers who formed the Moscow School of Motor Control. The author argues that this preference for less hierarchical models was one expression of the Thaw’s trend toward liberalization of life within the USSR and greater involvement in international politics.

DOI: 10.22394/0869-5377-2020-2-129-152

References

- Agarwail G. C., Gottlieb G. L. Control Theory and Cybernetic Aspects of Motor Systems. *Human Motor Action: Bernstein Reassessed* (ed. H. T. A. Whiting), Amsterdam, Elsevier, 1984, pp. 563–570.
- Arshavskii Iu. I., Berkinblit M. B., Gelfand I. M., Orlovskii G. N., Fukson O. I. Razlichii v rabote spinno-mozzhechkovykh traktov pri iskusstvennom razdrzhenii i pri lokomotsii [Differences in the Work of the Spinal-Croicpital Tract in Case of Artificial Irritation and Locomotion]. *Mekhanizmy ob’edineniia neuronov v nervnom tsentre* [Mechanisms of Neuronal Association in the Nerve Centre] (ed. P. G. Kostiuk), Leningrad, Nauka, 1974, pp. 99–104.

- Bassin F. V. O podlinnom znachenii neurofiziologicheskikh kontseptsii N. A. Bernsheina [About the True Meaning of N. A. Bernstein's Neurophysiological Concepts]. *Voprosy filosofii* [Questions of Philosophy], 1967, no. 11, pp. 71–72.
- Berg A. I. V. I. Lenin i nauchnaia organizatsiia truda [Lenin and Scientific Organisation of Labor]. *Pravda*, October 24, 1962.
- Bernstein N. A. Biologicheskie prototipy i sinteticheskie modeli [Biological Prototypes and Synthetic Models]. *Novye knigi za rubezhom* [New Books Abroad], 1963, vol. 1, no. 5, pp. 38–41.
- Bernstein N. A. Biotelemetriia: primenenie telemetrii k izucheniiu povedeniia zhiivotnykh, ikh fiziologii i ekologii [Biotelemetry: Application of Telemetry to the Study of Animal Behavior, Physiology and Ecology]. *Novye knigi za rubezhom* [New Books Abroad], 1963, vol. 1, no. 12, pp. 38–41.
- Bernstein N. A. Issledovaniia po biomekhanike udara s pomoshch'iu svetovoi zapisi [Research on Impact Biomechanics with Optical Registration]. *Issledovaniia Tsentral'nogo Instituta truda* [Central Institute of Labor Studies], 1923, no. 1, pp. 19–79.
- Bernstein N. A. Novye linii razvitiia v fiziologii i ikh sootnoshenie s kibernetikoi [New Lines of Development in Physiology and Their Relationship with Cybernetics]. *Filosofskie voprosy fiziologii vysshei nervnoi deiatel'nosti i psikhologii* [Philosophical Problems of Physiology of Higher Nervous Activity and Psychology], Moscow, AN SSSR, 1963, pp. 299–322.
- Bernstein N. A. O perspektivakh matematiki v biokibernetike [On Perspectives of Mathematics in Biocybernetics]. In: Chernysh V. I., Napalkov A. V. *Matematicheskii apparat biologicheskoi kibernetiki* [Mathematical Apparatus of Biological Cybernetics], Moscow, Meditsina, 1964, pp. 3–30.
- Bernstein N. A. *O postroenii dvizhenii* [On Construction of Movements], Moscow, Medgiz, 1947.
- Bernstein N. A. Ocherednye problemy fiziologii aktivnosti [Further Issues in Physiology of Activity]. *Problemy kibernetiki* [Problems of Cybernetics], 1961, iss. 6, pp. 101–160.
- Bernstein N. A. *Ocherki po fiziologii dvizhenii i fiziologii aktivnosti* [Essays on Dynamic Physiology and Physiology of Activity], Moscow, Meditsina, 1966.
- Bernstein N. A., Bassin F. V., Latash L. P. Problema funktsional'noi organizatsii mozga cheloveka v svete dannykh sovremennoi eksperimental'noi i klinicheskoi neurofiziologii [The Problem of Functional Organization of the Human Brain in the Light of Data Provided by Modern Experimental and Clinical Neurophysiology]. *X S'ezd Vsesoiuznogo fiziologicheskogo obshchestva im. I. P. Pavlova. Referaty dokladov. T. 1* [X Congress of the Pavlov All-Union Physiological Society. Abstracts of Reports. Vol. 1], Moscow, Leningrad, GIZ, 1964, pp. 122–123.
- DeLanda M. Matter Matters. *Domus Magazine*. 2005–2007, no. 884–991.
- Deleuze G., Guattari F. *Tysiacha plato: Kapitalizm i shizofreniia* [Mille plateaux: Capitalisme et schizophrénie], Yekaterinburg, U-Faktoriia, 2010.
- Demidov V. E. U istokov fiziologii aktivnosti. Nikolai Aleksandrovich Bernshein i razvitie otechestvennykh biokiberneticheskikh issledovaniï [At the Origins of the Physiology of Activity. Nikolai Aleksandrovich Bernstein and Development of Domestic Biocybernetics Research]. *Ocherki istorii informatiki v Rossii* [Essays on the History of Informatics in Russia] (eds D. A. Pospelov, Ia. I. Fet), Novosibirsk, OIGGM SO RAN, 1998.
- Feigenberg I. M. *Nikolai Bernshein: ot refleksa k modeli budushchego* [Nikolai Bernstein: From Reflex to Model of the Future], Moscow, Smysl, 2004.

- Gaaze-Rapoport M. G. O stanovlenii kibernetiki v SSSR. Ocherki istorii informatiki v Rossii [On the Formation of Cybernetics in the USSR. Essays on the History of Informatics in Russia]. *Ocherki istorii informatiki v Rossii* [Essays on the History of Informatics in Russia] (eds D. A. Pospelov, Ia. I. Fet), Novosibirsk, OIGGM SO RAN, 1998.
- Gelfand I. M., Tsetlin M. L. O matematicheskom modelirovanii mekhanizmov tsentral'noi nervnoi sistemy [On Mathematical Modelling of the Mechanisms of the Central Nervous System]. *Modeli strukturno-funksional'noi organizatsii nekotorykh biologicheskikh sistem* [Models of Structural and Functional Organization of Some Biological Systems] (ed. I. M. Gelfand), Moscow, Nauka, 1966, pp. 9–26.
- Gelfand I. M., Tsetlin M. L. O nekotorykh sposobakh upravleniia slozhnymi sistemami [About Some Ways of Controlling Complex Systems]. *Uspekhi matematicheskikh nauk* [Advances in Mathematical Sciences], 1962, vol. 17, iss. 1, pp. 3–25.
- Gerovitch S. Creative Discomfort: The Culture of the Gelfand Seminar at Moscow University. *Mathematical Cultures: The London Meetings, 2012–2014 (Trends in the History of Science)* (ed. B. Larvor), Switzerland, Springer, 2016, pp. 51–70.
- Gerovitch S. *From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics*, Cambridge, MA, The MIT Press, 2002.
- Graham L. *Estestvoznaniye, filosofiya i nauki o chelovecheskom povedenii v Sovetskom Soiuze* [Science, Philosophy, and Human Behavior in the Soviet Union], Moscow, Politizdat, 1991.
- Gurfinkel' V. S., Feigenberg I. M. Stanovlenie i razvitie shkoly N. A. Bernshteina [Formation and Development of the N. A. Bernstein's School]. *Fiziologicheskie nauchnye shkoly v SSSR: Ocherki* [Physiological Scientific Schools in the USSR: Essays] (ed. N. P. Bekhtereva), Leningrad, Nauka, 1988, pp. 247–254.
- Ivanov V. V. Iz istorii kibernetiki v SSSR. Ocherk zhizni i deiatel'nosti M. L. Tsetlina [From the History of Cybernetics in the USSR. Essay on Life and Works of M. L. Tsetlin]. *Ocherki istorii informatiki v Rossii* [Essays on the History of Informatics in Russia] (eds D. A. Pospelov, Ia. I. Fet), Novosibirsk, OIGGM SO RAN, 1998.
- Kapitsa S. P. Ocherk vospominanii o kibernetike i ee tvortsakh [Memorial Sketch of Cybernetics and Its Creators]. *Istoriia informatiki v Rossii: uchenye i ikh shkoly* [History of Informatics in Russia: Scientists and Their Schools] (eds V. N. Zakharov, R. I. Podlovchenko, Ia. I. Fet), Moscow, Nauka, 2003.
- Kobrinskii A. E., Breido M. G., Gurfinkel' V. S., Sysin A. Ia., Tsetlin M. L., Iakobson Ia. S. Bioelektricheskaya sistema upravleniia [Bioelectric Control System]. *Doklady AN SSSR* [USSR Academy of Sciences Reports], 1957, vol. 117, iss. 1, pp. 78–80.
- Kohonen T. *Self-Organizing Maps*. 3rd extended ed., New York, Springer, 2001.
- Latash M. L. Structured Variability as a Signature of Biological Processes. *Voprosy Psikhologii* [Questions of Psychology], 2016, no. 3, pp. 120–126.
- Levin V. I. M. L. Tsetlin i razvitie matematicheskogo modelirovaniia v SSSR [M. L. Tsetlin and Development of Mathematical Modelling in the USSR]. *Vestnik Rossiiskikh universitetov. Matematika* [Russian Universities Reports. Mathematics], 2015, vol. 20, iss. 6, pp. 1834–1839.
- Markova E. V. Ekho GULAGA v Nauchnom sovete po kibernetike [Gulag Echo on the Scientific Council of Cybernetics]. *Ocherki istorii informatiki v Rossii* [Essays on the History of Informatics in Russia] (eds D. A. Pospelov, Ia. I. Fet), Novosibirsk, OIGGM SO RAN, 1998.

- Nalimov V. V. Aksel' Ivanovich kak dissident ot nauki [Aksel Ivanovich as a Scientific Dissenter]. *Istoriia informatiki v Rossii: uchenye i ikh shkoly* [History of Informatics in Russia: Scientists and Their Schools] (eds V. N. Zakharov, R. I. Podlovchenko, Ia. I. Fet), Moscow, Nauka, 2003.
- Nalimov V. V. *Spontannost' soznaniia. Veroiatnostnaia teoriia smyslov i smyslovaia arkhitektonika lichnosti* [Spontaneous Mind: The Theory of Probability and Semantic Meanings Architectonics of Personality], Moscow, Prometei, 1989.
- Orlovskii G. N., Severin F. V., Shik M. L. Lokomotsiia, vyzyvaemaia stimuliatsiei srednego mozga [Locomotion Induced by Midbrain Stimulation]. *Doklady AN SSSR* [USSR Academy of Sciences Reports], 1966, vol. 169, iss. 5, pp. 1223–1226.
- Pickering A. *The Cybernetic Brain: Sketches of Another Future*, Chicago, London, The University of Chicago Press, 2010.
- Pospelov D. A. Aksel' Ivanovich Berg (K stoletiiu so dnia rozhdeniia) [Aksel Ivanovich Berg (to the Centenary of Birth)]. *Istoriia informatiki v Rossii: uchenye i ikh shkoly* [History of Informatics in Russia: Scientists and Their Schools] (eds V. N. Zakharov, R. I. Podlovchenko, Ia. I. Fet), Moscow, Nauka, 2003.
- Pospelov D. A., Fet Ia. I. *Kolmogorov i kibernetika* [Kolmogorov and Cybernetics], Novosibirsk, IVMiMG (VTs) SO RAN, 2001.
- Progress in Motor Control: Bernstein's Traditions in Movement Studies* (ed. M. L. Latash), Urbana, IL, Human Kinetics, 1998.
- Shik M. L. Upravlenie nazemnoi lokomotsiei mlekopitaiushchikh zhivotnykh [Ground Locomotion Control of Mammals]. *Fiziologiya dvizheniia* [Dynamic Physiology] (eds M. A. Alekseev, V. S. Gurfinkel'), Leningrad, Nauka, 1976, pp. 234–275.
- Shik M. L., Orlovskii G. N., Severin F. V. Lokomotsiia mezentsefalicheskoi koshki, vyzyvaemaia stimuliatsiei piramid [Mesencephalic Cat Locomotion Induced by Pyramid Stimulation]. *Biofizika* [Biophysics], 1968, iss. 13, pp. 127–135.
- Sirotkina I. E. *Mir kak zhivoe dvizhenie: Intellektual'naia biografiia Nikolaia Bernsheina* [The world as a Living Movement: An Intellectual Biography of Nikolai Bernstein], Moscow, Kogito-Tsentr, 2018.
- Soznanie. Materialy obsuzhdeniia problemy soznaniia na simpoziume, sostoiavshem-sia 1–3 iunია 1966 g.* [Consciousness. Materials of Discussion of the Problem of Consciousness at the Symposium Held on June 1–3, 1966], Moscow, 1967.
- Talis V. L. *Istoriia sozdaniia laboratorii № 9 (po vospominaniiam M. B. Berkinblita)*. V Institute biofiziki [History of Creation of Laboratory No. 9 (Based on Memoirs of M. B. Berkinblit). At the Institute of Biophysics]. *Institut problem peredachi informatsii imeni A. A. Kharkevicha RAN* [RAS Institute for Information Transmission Problems]. Available at: <http://iitp.ru/ru/user-pages/53/157.htm>.
- Tsetlin M. L. *Issledovaniia po teorii avtomatov i modelirovaniu biologicheskikh sistem* [Automation Theory and Modeling of Biological Systems], Moscow, Nauka, 1969.
- Verkhoshanskii Iu. V. Neskol'ko shtrikhov k portretu uchenogo [A Few Touches to the Portrait of the Scientist]. *Teoriia i praktika fizicheskoi kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 1991, no. 3, pp. 47–48.
- Wiener N. *Ia — matematik* [I am a Mathematician], Izhevsk, Reguliarnaia i khaoticheskaiia dinamika, 2001.
- Wiener N. *Kibernetika, ili Upravlenie i sviaz' v zhivotnom i mashine* [Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine], Moscow, Sovetskoe radio, 1958.