



Open Research Online

Citation

Bissell, C. C. (2001). The role of A. A. Andronov in the development of automatic control in Russia. *Automation and Remote Control*, 62(6) pp. 863–874.

URL

<https://oro.open.ac.uk/2250/>

License

None Specified

Policy

This document has been downloaded from Open Research Online, The Open University's repository of research publications. This version is being made available in accordance with Open Research Online policies available from [Open Research Online \(ORO\) Policies](#)

Versions

If this document is identified as the Author Accepted Manuscript it is the version after peer review but before type setting, copy editing or publisher branding

УДК 62-50

© 2001 г. К. БИССЕЛ
(Открытый Университет, Милтон Кейнз, Великобритания)

РОЛЬ А. А. АНДРОНОВА В РАЗВИТИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В РОССИИ¹

В период, последовавший непосредственно за окончанием второй мировой войны, во многих странах наблюдалось быстрое развитие теории автоматического регулирования. Инженеры и ученые, занятые изучением задач управления, образовали новые профессиональные сообщества; начали читаться университетские курсы по соответствующей тематике; были образованы исследовательские группы в промышленных, академических и государственных лабораториях. Широко распространялись прежде секретные работы военного времени, и были определены военные, промышленные и прочие приложения развивающейся дисциплины. В этот период Александр Александрович Андронов (1901–1952) представлял собой ключевую фигуру в развитии теории автоматического регулирования в бывшем Советском Союзе. Цель этой статьи – дать краткое введение к работам Андропова, начиная с его трудов по нелинейной динамике, и показать его последующую роль в стимулировании советских исследований в области теории автоматического регулирования – в значительнейшей степени благодаря организации в 1944 году его Московского семинара.

1. Школа нелинейной динамики Мандельштама–Андропова

Важным центром изучения нелинейной динамики в России с конца 20-х годов была группа, сформировавшаяся в Москве вокруг Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси. Исследования этой группы, среди прочего, привели к развитию теории мультивibrаторов и к созданию радиогодезии.

Андронов был одним из молодых физиков, кто в качестве аспиранта Мандельштама начал свою академическую карьеру с изучения нелинейной динамики. Мандельштам был известен как талантливый лектор и педагог, и его группу характеризовала обстановка интеллектуального сотрудничества, где отвергалось любое искусственное разделение теоретической и экспериментальной физики, равно как и разделение преподавания и исследования. Андронов, как и многие его соученики-студенты, находился под сильным влиянием стиля Мандельштама; и лучшие черты, присущие группе Мандельштама, должны были впоследствии сформировать основу собственного стиля Андропова в преподавании и исследованиях. Андронов поддерживал тесный контакт со своим первым учителем до самой смерти Мандельштама в 1944 г. Мандельштам представлял большинство, если не все, статей Андропова, которые появились в публикациях Академии наук СССР вплоть до года смерти Мандельштама.

Леонид Исаакович Мандельштам (1879–1944) – один из наиболее выдающихся советских физиков первой половины 20-го столетия. Исключенный из Одесского университета после студенческих беспорядков 1899 г., он продолжил свое студенческое и аспирантское образование в Страсбурге и возвратился в Россию в 1914 г. Затем последовали различные научные и академические посты, увенчавшиеся заведыванием кафедрой теоретической физики в МГУ и избранием действительным членом Академии наук СССР в 1929 г. Основные исследования Мандельштама относились

¹ Статья специально написана к юбилею А.А. Андропова и использует материал двух предыдущих работ автора [1, 2], ©IEEE; печатается с разрешения IEEE. Перевод с английского Т.И. Шмидт.

к оптике и радиофизике. В 1918 г. он предположил, что рэлеевские линии должны обладать тонкой структурой (благодаря тому, что стало известно как эффект Бриллюэна). Вместе с Г.С. Ландсбергом он открыл рамановское рассеивание в кристаллах, независимо от работы Рамана и Кришнана с жидкостями. Сотрудничество с Папалекси и другими в области нелинейных систем и в области линейных систем с нестационарными параметрами привело к ряду важных результатов в электротехнике, включая теорию мультивибраторов и создание первого параметрического осциллятора с периодически меняющейся индуктивностью. Один из наиболее значительных результатов работ Манделъштама и Папалекси – радиоинтерференционный метод измерения, приведший к возникновению новой науки – радиогодезии. Также Манделъштам проводил теоретические исследования в квантовой механике.

Одно из первых значительных достижений Андронова заключалось в демонстрации в конце 20-х годов связи между предельными циклами Пуанкаре и целой областью практических колебательных процессов [3]. Андронов предсказал, что к колебательным явлениям в химии, биологии и технике, возможно, будет приложен метод фазовой плоскости, разработанный первоначально совершенно в другом контексте. Эта работа ознаменовала начало необычайно плодотворного периода. Как должен был признать Минорский 30 годами позже, Андронов и его коллеги установили фундаментальную связь между сингулярными точками и положениями равновесия, между предельными циклами и стационарным движением, и между самовозбуждениями и бифуркациями [4]. В серии публикаций Андронов и другие (в частности, Л.С. Понтрягин и А.А. Витт) разработали строгий подход к изучению нелинейных систем, взяв за точку отсчета работы Пуанкаре и Ляпунова 19-го столетия, но продвинувшись много дальше. Одно из направлений этой работы в 1937 г. увенчалось классической “Теорией колебаний” [5], авторство которой Андронов разделяет с С.Э. Хайкиным и А.А. Виттом (имя Витта никогда не появлялось в первом издании этой работы; он был арестован в 1937 г. и умер на следующий год в лагере в Сибири [6]). В сокращенном виде английский вариант первого издания был предложен Лефшецем [7]; полностью было переведено второе русское издание [8]. Однако ни одна английская версия не явилась идеальным отражением оригинала. Лефшец модифицировал большую часть текста первого издания; второе же издание, хотя и в значительной мере уточненное и, в отличие от первого, содержащее специфически управленческие приложения, – это версия, появившаяся много позже смерти Андронова, весьма расширенная и частично переписанная другими авторами.

В 1931 г. Андронов переезжает в Горький (Нижний Новгород), хотя формально он сохранял по совместительству должность в Москве до 1937 г. Причины его переезда не полностью ясны, но как будто бы они связаны с бесосновательными политическими нападками на Манделъштама (из-за его еврейской национальности и его тесных академических связей с Германией), и возникшей в результате этого полемики между Андроновым и одним видным московским ученым. Каковы бы ни были подлинные причины, Андронов вскоре создает чрезвычайно успешно работающую исследовательскую группу в Горьком, не оставляя работу в столице. Он продолжает тесное сотрудничество с московскими исследователями, выпуская совместные публикации и регулярно приезжая в Москву. Общий подход к изучению нелинейной динамики, существовавший в этих научных центрах в указанный период, до сих пор именуется в русской научной литературе *школой Манделъштама – Андронова*. Основные ступени академической карьеры Андронова, так же, как и некоторые ключевые события его жизни, перечислены ниже:

- 1901 – родился 11 апреля, в Москве.
- 1919–20 – военная служба в Красной армии.
- 1920 – зачислен студентом Московского Высшего технического училища, вскоре также стал посещать лекции МГУ.
- 1923 – переведен на физический факультет МГУ.

- 1925 – начал работу в аспирантуре под руководством Мандельштама.
- 1926 – женился на Е.А. Леонтович, математику по образованию; в дальнейшем она являлась соавтором ряда его научных публикаций.
- 1928 – представляет фундаментальный доклад по предельным циклам на 6-ю Конференцию советских физиков.
- 1929 – удостоен степени кандидата наук.
- 1931 – переходит на работу в Горьковский университет.
- 1934 – получает звание профессора.
- 1935 – удостоен степени доктора наук.
- 1937 – вышла из печати “Теория колебаний” (в соавторстве с Хайкиным и Виттом).
- 1944 – организует исследовательский семинар в Институте автоматики и телемеханики, оставаясь на работе в Горьком.
- 1944 – публикует основополагающий доклад о нелинейностях в цепях управления.
- 1946 – избран действительным членом Академии наук СССР.
- 1947 – избран депутатом Верховного Совета РСФСР.
- 1949 – публикует (совместно с Вознесенским) обзор по истории теории автоматического управления о работах Максвелла, Вышнеградского и Стодоль.
- 1950 – избран депутатом Верховного Совета СССР.
- 1952 – умер 31 октября.

2. Возникновение теории автоматического управления в Советском Союзе

В 1930-х годах в Советском Союзе, так же, как и во многих других странах Европы, наблюдается возрастающий интерес к автоматическому регулированию. В 1934 г. Академия наук СССР создает специальную Комиссию по автоматике и телемеханике, – несколько ранее, чем учреждение Комитета промышленных инструментов и регуляторов Американского общества инженеров-механиков (1936) или Комитета по управлению Союза немецких инженеров в Германии (1939). Комиссия провела конференцию по своей тематике в мае 1935 г., и в следующем году вышел журнал “Автоматика и Телемеханика”. В июне 1939 г. был создан Институт автоматики и телемеханики (ИАТ), к работе в котором были привлечены не только инженеры, уже знакомые с аспектами управления, но также и теоретики. Вскоре после организации института первые аспиранты приступили к исследованиям и начали работу первые семинары.

Ко времени организации Института автоматики и телемеханики в Москве, Андронов и некоторые его коллеги из Горького уже заинтересовались теорией управления. Он и другой горьковский исследователь, А.Г. Майер, обратили внимание на эту тему в конце 1930-х годов, когда они рассматривали задачу моделирования эффекта трения покоя в системах управления и обнаружили связь между этой частной нелинейной задачей и другими интересующими их областями науки [9, 10]. Андронову и Майеру посчастливилось встретить в 1940 г. ведущего специалиста в области автоматического регулирования в СССР – И.Н. Вознесенского из Ленинградского Центрального Теплотехнического института, и в том же году все они присутствовали на Первой Всесоюзной конференции по теории автоматического управления (называемой так теперь, хотя название оригинальных трудов было простым: *Тезисы и конспекты докладов на научном совещании по теории регулирования*, что наводит на мысль, что только в ретроспективе появилось более внушительное название – “Всесоюзное”).

Конференция 1940 г. проходила в то время, когда деятельность Института автоматизации и телемеханики и в особенности работы Г.В. Щипанова, Н.Н. Лузина и В.С. Кулебакина (директора института в то время) изучались специальной комиссией Академии наук. Эти ученые и некоторые их коллеги были обвинены в том, что они ведут “псевдонаучные” исследования; расследование велось с марта 1940 г. по май 1941 г. Институт и те ученые, которых коснулось это расследование, жестоко пострадали (Кулебакин лишился поста директора, Щипанов был переведен в другой институт). Однако в 1959 г. эта работа была официально “реабилитирована”, и последовала целая серия конференций по “теории инвариантности”.

Вознесенский и ленинградские коллеги были среди наиболее суровых критиков работы ИАТ, так что атмосфера на конференции должна была быть напряженной. Тем не менее, одним из важных результатов встречи в действительности было установление более сильных связей между исследователями в московском институте, ленинградской группой, группой Андропова в Горьком и Всесоюзным электротехническим институтом (ВЭИ), где А.В. Михайлов в своей основополагающей работе, впервые опубликованной в 1938 г. применил критерий Найквиста к задачам электрического регулирования. (В.В. Солодовников и Л.С. Гольдфарб также вели активную деятельность в ВЭИ в предвоенный период, и все эти трое ученых выступили с важными докладами на конференции 1940 г.).

Надо, однако, заметить, что эти центры были не единственными, где накапливался опыт исследований. К 1940 г., когда взгляд на автоматическое регулирование как на отдельную дисциплину только что начал укореняться в Советском Союзе, работы по задачам управления и нелинейной динамики уже выполнялись в различных научных, академических и промышленных учреждениях. В дополнение к вышеупомянутым, стоит отметить следующие центры (но значительная работа также выполнялась и в других местах):

- Казань, где Н.Г. Четаев и другие применили методы Ляпунова к техническим задачам;
- Киев, где Н.М. Крылов и Н.Н. Боголюбов провели детальное исследование применения подхода гармонической линеаризации к нелинейным системам;
- Харьков, где М.В. Мееров, работая в Электротехническом институте, установил критерий аperiodической устойчивости в 1942 г. – хотя он не был опубликован до 1945 г. [11].

Изучение проблем управления вскоре стало главной задачей андроновской группы в Горьком, и в марте 1941 г. Андронов был приглашен выступить на Отделении физики и математики Академии наук в Москве. В письме [12] к М.А. Айзерману в Институт автоматизации и телемеханики, датированном 19 мартом этого года, Андронов делает наброски своего выступления, которое должно включить в себя:

- Физику колебаний и теорию автоматического управления.
- Автоколебания в системах управления.
- Классическую теорию управления: устойчивость и критерий Рауса–Гурвица.
- Современные достижения теории управления, включая:
 - тепловые процессы (Синдж);
 - сервомеханизмы (Хазен);
 - трение и устойчивость (Айзерман);
 - линейную теорию (Хартри и др.);
 - текущие исследования по нелинейности в Горьком;
 - автопилоты и запаздывание.

Одной из интересных черт этой лекции было то, что она включала обзор некоторых наиболее важных работ в Великобритании и Соединенных Штатах в 1930-х годах: анализ Хазена высококачественных сервомеханизмов, который появился в

США в 1934 г., и работу Хартри и Портера по применению методов Фурье к тепловым процессам, опубликованную в Великобритании в 1936–37 годах. Более подробно об этих работах можно прочесть в книге [13]. Ясно, что Андронов уже был близко знаком с международными исследованиями.

Путь, пройденный Андроновым от нелинейной динамики к автоматическому управлению, можно кратко описать следующим образом.

Первая главная часть исследований Андронова в области нелинейной динамики касалась метода *припасовывания*, – метода, в котором отдельные решения для различных линейных режимов кусочно-линейной задачи соединяются, образуя полное решение – они “подшиты вместе”, как предписывает *метод шивания* (графический аналог метода припасовывания). Этот метод уже был использован Папалекси, Зоммерфельдом и другими, но в 1927 г. Мандельштам поставил перед Андроновым задачу создать для этого метода соответствующую математическую основу. В то время цель не была полностью достигнута, но исследования привели к тесной связи с последующей работой Андронова по автоматическому управлению.

Конец 20 и 30-х годов – это время быстрого продвижения Андронова и его коллег в теории нелинейной динамики, в частности путем распространения на эту область исследований более ранних плодотворных результатов Пуанкаре, Ляпунова, Биркгофа, Ван дер Поля и других. Детально исследуемые задачи включали предельные циклы, метод малого параметра (оба метода опирались на оригинальную работу Пуанкаре), и анализ устойчивости (с использованием методов Ляпунова). Итогом было создание исчерпывающего теоретического обоснования для нелинейной динамики, в основном изложенного в “Теории колебаний” 1937 г. издания [5].

К середине 40-х годов Андронов занимался исследованием нелинейных систем высокого порядка, связанных с задачами автоматического управления. Он начал с систем третьего порядка, являющихся линейными за исключением одной нелинейности, возникающей за счет релейности либо кулоновского трения. Особенно интересен его метод “точечных преобразований”, впервые опубликованный в 1944 г. [14]. Андронов и его коллеги провели строгое исследование устойчивости таких систем, отыскивая неподвижные точки преобразования плоскости переключения. Техника, разработанная Андроновым и его коллегами в 1940 г., является прямым продолжением собственного метода Андронова 1920 г., использовавшегося в работе по предельным циклам, и она была последовательно распространена на пространства состояний большей размерности. Впоследствии метод был применен Андроновым и другими к различным нелинейным задачам теории управления в период 1944–1950 годов.

3. Андроновский семинар в Институте автоматики и телемеханики

В 1944 г. Андронов, исходя из своего собственного опыта обучения у Мандельштама, а также из развившегося в г. Горьком подхода к вопросам обучения и исследований, основал научный семинар в московском институте. Ядро семинара в Москве составила группа молодых исследователей, в то время как сам Андронов периодически приезжал в столицу из Горького. Семинар сразу стал событием, с которым нужно было считаться. М.В. Мееров, один из младших представителей “ядра” семинара, вспоминает в беседе с автором (ноябрь 1996 г.):

“Фактически работа семинара началась докладом А.А. Андронова, посвященным задаче Мизеса в теории прямого регулирования и теории точечных преобразований поверхностей. Трудно назвать это событие заседанием семинара. Это большое научное событие послужило таким мощным импульсом, что в дальнейшем заботиться об участниках семинара не приходилось.”

Еженедельные заседания семинара регулярно привлекали 40–60 участников – из самого Института автоматики и телемеханики, из других московских учебных и исследовательских институтов и даже из нестоличных институтов. Дискуссии охва-

тывали область всей современной теории управления; в течение нескольких первых лет главными темами были, естественно, нелинейные методы (включая применение второго метода Ляпунова), частотные методы (основывающиеся как на работе Михайлова, так и на результатах западных работ военного времени) и D -разбиение (метод описания области устойчивости, полностью разработанный Ю.И. Неймарком, одним из коллег Андропова по Горькому, и продолжающий родственные работы А.А. Соколова и М.В. Меерова).

Андронов был харизматической фигурой и вдохновляющим учителем, как во многих случаях свидетельствовали его ученики и коллеги. Достаточно будет процитировать высказывания двоих участников семинара. М.А. Айзерман писал:

“Прежде чем говорить о научных направлениях, развивавшихся в этом семинаре, я бы хотел рассказать о той необычной атмосфере, которая сложилась вокруг него. Молодость и энтузиазм участников – почти все они были однолетки, только что пережившие тяжелые годы войны, необычность и новизна возникавших идей, зажигательный талант А.А. Андропова, умевшего даже в свои частые приезды на семинар зажечь людей энтузиазмом и идеями для многих следующих заседаний, высокая научная требовательность, доходящая порой до резкости, прямота и глубокая принципиальность – все это создавало на семинаре обстановку романтической приподнятости, творческого горения, коллективного поиска, которые так редко возникают и, к сожалению, обычно не долго удерживаются в научных коллективах [15].”

И Я.З. Цыпкин столь же восторжен в своей оценке:

“Образ Александра Александровича Андропова неизгладимо запечатлелся в памяти многих людей и, в частности, людей моего поколения, знавших его лично, слушавших его лекции, видевших его в действии в дискуссиях на научных семинарах, при решении им научных проблем и чисто житейских вопросов. Трудно подобрать слова, чтобы в полной мере охарактеризовать этого замечательного человека, большого ученого, превосходного педагога, глубокого знатока истории науки, человека редкой библиографической памяти. В нем соединились такие черты, как твердость и доброта, бескомпромиссная честность и отзывчивость, большая внутренняя сила и огромное обаяние. Велико было влияние Александра Александровича на окружающих его людей [10].”

Можно оценить качество работ, возвращенных Андроновым, путем беглого взгляда на некоторые докторские диссертации, защищенные участниками опекаемого им Московского семинара в 1946–1950 гг.

- 1946 г., М.А. Айзерман. Критерии сходимости процессов автоматического регулирования, учитывающие нелинейность характеристик элементов установки.
- 1947 г., Я.З. Цыпкин. Системы с запаздывающей обратной связью.
- 1948 г., М.В. Мееров. Системы автоматического регулирования, устойчивые при сколь угодно малой статической ошибке, и следящие системы, устойчивые при любой сколь угодно малой динамической ошибке.
- 1948 г., А.А. Фельдбаум. Методы исследования переходных процессов в самонастраивающихся системах.
- 1948 г., В.В. Солодовников. Частотный метод анализа динамики следящих и регулируемых систем.
- 1950 г., Л.С. Гольдфарб. Устойчивость нелинейных систем с определенным видом нелинейной характеристики.

Отметим, что Андронов руководил и другими аспирантами и докторантами в Горьком, из них наиболее известен, вероятно, Ю.И. Неймарк.

Указанные работы демонстрируют огромную творческую смелость, которая должна была наложить отпечаток на деятельность советских исследователей в области теории управления в следующие десять или более лет. Все перечисленные исследователи стали знаменитыми в Советском Союзе, а некоторые из них получили

международное признание. В качестве примера можно указать на необычайно плодотворные следствия из “типотезы Айзермана”, касающейся поведения нелинейных систем управления при секторной нелинейности; или на работы Цыпкина – сначала теорию дискретных систем (советский контрапункт работы Джури в США), а затем теорию релейных систем управления. Аналогично, Мееров провел огромную работу, исследуя структуру систем управления, в частности, в контексте многосвязных систем (многие из его более поздних результатов все еще мало известны вне России [16]). Метод описывающей функции Гольдфарба, основанный на ранней работе Крылова и Боголюбова [17] по гармонической линейризации, стал в Советском Союзе стандартным методом (параллельные работы – Кохенбергера в США и менее известные – работа Тастена в Великобритании, Опшеля в Германии и Дутила во Франции). Более подробные ссылки можно найти в [18, 19].

Андронов не только создал плодотворную и стимулирующую интеллектуальную обстановку в Московском семинаре, также он установил тесные связи с исследователями повсюду. Особенно близкими, как и можно было ожидать, были связи между Москвой и Горьким; помимо Андропова, многие другие горьковские академики выступали с докладами в Москве. Но также существовали связи и с другими центрами – с Ленинградом, например. Действительно, вскоре в Ленинграде был организован семинар, подобный московскому, где в послевоенный период активно работали А.И. Лурье и другие выдающиеся теоретики в области теории управления.

4. Историческая связь

Обсуждение работы Андропова в области теории управления не было бы полным без рассмотрения его интереса к истории этой дисциплины. Как уже было отмечено, внимание Андропова к задачам управления первоначально вызвано проблемами, связанными с нелинейностями, такими, как кулоновское трение в цепи управления. Одна из таких задач, часто называемая в русской литературе “проблемой Вышнеградского”, восходит к попыткам в конце 19-го века промоделировать поведение паровой машины с регулятором Уатта и объяснить возникновение рывка и неустойчивости.

Оригинальный подход Вышнеградского очень высоко ценился и вне России, с ним на рубеже веков познакомились многие европейские исследователи. Однако существовали некоторые споры относительно законности выводов работы Вышнеградского (поскольку он пренебрег в своей модели сухим трением), и многие русские и иностранные авторы обвиняли его в серьезной ошибке. Вызванный первоначально все еще не решенными техническими проблемами, связанными с наличием сухого трения в контурах связи, интерес Андропова к Вышнеградскому и другим предметам теории управления 19-го века вскоре углубляется и расширяется.

При моделировании паровой машины с регулятором центробежного типа Вышнеградский пренебрег кулоновским трением и линейризировал систему относительно рабочей точки. Рассматривая машину как интегратор и регулятор как систему второго порядка, он произвел прямую замену переменных, чтобы преобразовать получаемое в результате характеристическое уравнение 3-го порядка в форму

$$\phi^3 + x\phi^2 + y\phi + 1 = 0,$$

природа корней которого определяет общую форму переходной функции системы. Параметры x и y , зависящие от таких характеристик системы, как постоянная регулятора, момент инерции и т.д., в русской и немецкой литературе стали известны как параметры Вышнеградского. Преобразованному уравнению прекрасно соответствует графический метод анализа устойчивости, как показано на рис. 1. Рисунок воспроизведен из собственной статьи Вышнеградского, но к нему были добавлены

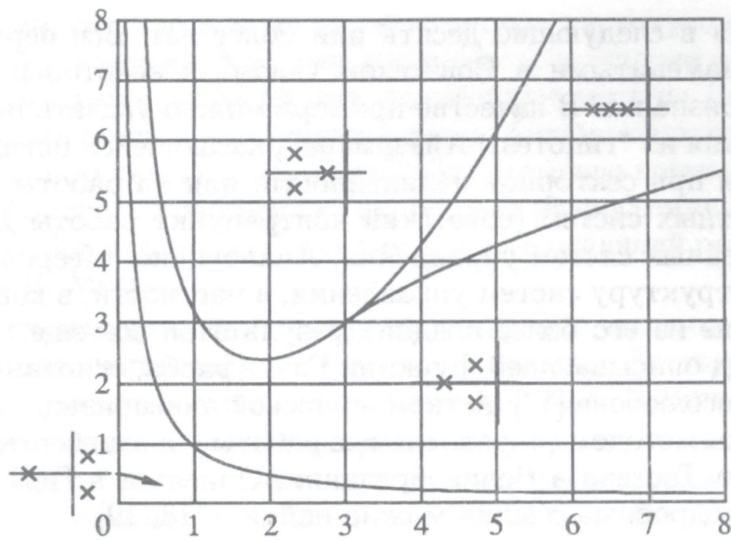


Рис. 1. Диаграмма Вышнеградского.

положения отдельных полюсов для выявления природы корней и, следовательно, переходной функции (как корректно определено Вышнеградским) в различных областях плоскости. В 1930-х годах работа Вышнеградского была известна некоторым исследователям Советского Союза в области теории управления, в частности, группе Вознесенского в Ленинграде. Благодаря подробному историческому описанию Андропова и Вознесенского, во многих послевоенных русских текстах по автоматическому регулированию встречаются диаграммы этого типа, и подход Вышнеградского также непосредственно применялся во многих новых методах анализа систем высоких порядков. А когда Неймарк развил метод D -разбиения, стало возможным демонстрировать ясную теоретическую связь между методом Вышнеградского и более поздними методами проверки устойчивости.

Андронов издавна интересовался историей науки. Еще в 1930 г. вместе со своей женой Е.А. Леонтович он опубликовал небольшую книгу о Лапласе; в 40-е годы он проводил работу, собирая материалы по биографии Лобачевского (первый русский исследователь в области неевклидовой геометрии); и, вероятно, он знал об исторических основаниях теории управления в России, даже до того, как проявил активный исследовательский интерес к истории предмета [12]. Действительно, на протяжении всей своей деятельности он подчеркивал важность для всех исследователей детального знания истории своего предмета, веря, вместе с Эренфестом, что всестороннее знание старого жизненно важно для развития нового. И.Н. Вознесенский, ленинградский коллега Андропова, с которым он повстречался в 1940 г., разделял этот глубокий интерес к истории науки. Они начали серьезное сотрудничество в 1943–1944 годах, когда Андронов предложил амбициозный исторический проект. Вначале Андронов задумал четыре тома “классики управления”: три тома, охватывающие области линейного управления, нелинейного управления и импульсных систем управления (дискретных систем), и четвертый, посвященный более общим вопросам. В конце концов, только один из них был написан, и он появился лишь в 1949 г., после смерти Вознесенского [20]. Часть предложенного проекта – перевод М.В. Мееровым классической монографии Раусса 1877 г. “Трактат об устойчивости заданного состояния движения” – столкнулся с ухудшением политического климата в стране и никогда не появился: поскольку холодная война разгоралась, стало

невозможным отмечать пионерские достижения нерусского ученого способом, предложенным Андроновым. История науки в бывшем Советском Союзе стала крайне политизированной в конце 40-х годов; идеологический контекст научной и историографической деятельности Андропова в то время является предметом дальнейших исследований автора настоящей статьи. Личные бумаги Андропова, хранящиеся в архивах Российской Академии наук, содержат много документов, отражающих ужесточение политических требований в то время.

Тем не менее, единственный действительно появившийся том представлял собой внушительный образец эрудиции, состоящий из более чем 400 страниц переводов и критического анализа основополагающих работ Максвелла, Вышнеградского и Стодолой (который применил работу Вышнеградского к управлению турбиной в Швейцарии в конце 19-го века, и кто побудил Гурвица обратиться к изучению задачи динамической устойчивости [21]). Книга получила широкую известность в кругу специалистов по управлению в Советском Союзе, и поток послевоенных русских учебников по инженерным вопросам управления стремился включить методы Вышнеградского, с его знаменитой диаграммой, а также основанные на них методы проверки устойчивости. И если, как замечено автором в ранней статье [22], идеологический подтекст работы легко просматривается (как и во многих послевоенных “технических” публикациях во многих других странах), то это не мешает ей быть первым оригинальным исследованием интеллектуальной истории теории управления, не утратившим интерес и в наши дни.

Действительно, в условиях политического климата поздних 40-х, лишь благодаря репутации Андропова он смог выполнить такой высококвалифицированный анализ, ибо сразу после войны в Советском Союзе история науки и техники рассматривалась с новых идеологических позиций. Во время войны объединение стран против Германии привело к более интернациональному подходу к истории науки. Например, как замечает Вучинич в работе [23], 300-я годовщина (в 1942 г.) со дня смерти Галилея, 300-я годовщина (в 1943 г.) со дня рождения Ньютона, и 400-я годовщина De Revolutionibus Коперника (также в 1943 г.) были отмечены во многих публикациях, что включило русскую науку в общие рамки европейских научных традиций. С началом холодной войны, однако, положение изменилось. Вучинич различает три фазы:

1943–47 гг.: историки особенно заинтересовались определением и анализом вклада России в мировой фонд научных знаний. Русская наука рассматривалась как важная составляющая главного потока международной науки;

1947–49 гг.: историки перенесли ударение с единства мировой науки на отличительные черты русской науки;

1949–52 гг.: историки были явно обескуражены, обнаружив непоследовательности и отклонения в профессиональных работах и общем поведении до-советских лидеров русской науки [...] их поощряли подчеркивать первобытную чистоту естественнонаучного материализма в до-советской России.

Возникновение и публикация работ Андропова по истории управления почти точно совпадают с этой ожесточенной политической атмосферой. Действительно, Андронов представил работу Вышнеградского на печально известную сессию Академии наук 1949 г. по “истории отечественной науки” [24]. Идеология этого собрания ясна из принятой резолюции относительно исторических исследований в науке и технике [23]:

“Опираясь на теории Маркса, Энгельса, Ленина и Сталина, эти исследования должны представлять правильную оценку движущих сил, исторических причин и социальной значимости научных и технических открытий. Они должны представить правильную периодизацию истории науки и техники, показать борьбу материализма нашей национальной науки с идеализмом и метафизикой буржуазной истории



Рис. 2. Блок-схема, показывающая некоторые факторы, влиявшие на советскую науку об управлении в послевоенные годы.

науки и техники и защитить национальные приоритеты в научных открытиях и изобретениях.”

И на этом фоне собственный вклад Андропова был неожиданно оценен, и так же как был оценен учеными вклад ранней русской работы в дальнейшее развитие теории автоматического управления.

Эффектный завершающий аккорд к Андроновской заинтересованности в развитии истории теории управления был дан появлением в 1952 г. русского перевода широко используемого немецкого учебника начала века: *Regelung der Kraftmaschinen* (Управление двигателями) Толле. Как демонстрирует хранящаяся в архивах Академии наук России переписка между Андроновым и его близким коллегой по ИАТ’у Айзерманом, они оба были вовлечены в этот проект, который в начале 50-х все еще был потенциально спорным. (Письма от Айзермана к Андронову, 5 и 17 января 1950 г., и ответ от 28 января, обсуждающие необходимость предусмотреть возможную критику, связанную с публикацией переведенной книги в серии “Классики науки”. Напомним, что незадолго до этого был отвергнут проект перевода монографии Раусса). Действительно, книга появилась в сопровождении как неподписанного редакторского предисловия, подчеркивающего приоритет русских работ, так и пятидесяти страниц детальных замечаний и комментариев Айзермана к оригинальной публикации Толля.

Если касаться более общих послевоенных работ Андропова из области теории управления, то возникает картина неувомимого и сложного взаимодействия историкографических, идеологических, педагогических и технологических аспектов. Рисунок 2 – это попытка проиллюстрировать сказанное в форме “диаграммы взаимодействия” (в которой стрелки нужно читать просто как “влияло на”).

Талантливый педагог, способный вдохновить своих студентов, Андронов еще до того, как он обратился к работам по теории управления, был ведущим ученым в своей области (нелинейной динамике) с высоким научным авторитетом в России. Дальнейшая информация о технических аспектах может быть найдена в [4], [25]; в этой статье Печенкин отмечает, что советские исследования в области нелинейной динамики опирались на собственную идеологию – “идеологию автоколебаний”. Тема нелинейной динамики была затронута еще в 1931 г., на Всесоюзной конференции по теории колебаний, как область возможного приложения научных усилий. Высокий статус этой области исследований и престиж школы Андропова – Мандельштама, повидимому, во многом определили направление работ в послевоенном советском автоматическом управлении. Кроме того, интерес круга Андропова к истории был

благосклонно принят на фоне политических послевоенных установок в отношении русской науки и техники. Историческое исследование, показывавшее в положительном свете русскую науку, могло быть смело продолжено и, более того, могло быть легко использовано для того, чтобы узаконить обучение и исследования в инженерной дисциплине, которая, как оказывалось, имела превосходную генеалогию. И весьма существенно, к примеру, что в поздние 40-е исторические исследования Андропова в Горьковском университете были отнесены в годовом плане его отдела к категории “идеологической работы и работы по истории российской науки” – наряду с деятельностью его коллег в таких областях, как политическое воспитание студентов и философия социализма.

5. Заключение

Память Александра Александровича Андропова была увековечена в Советском Союзе учреждением премии его имени; в числе лауреатов этой премии – А.Г. Бутковский, М.В. Мееров, Ю.И. Неймарк, Б.Н. Петров и Я.З. Цыпкин совместно с Б.Т. Поляком. Собрание трудов Андропова появилось в 1956 г. [26].

Сравнительно низкий уровень осведомленности Запада относительно работ Андропова как в области нелинейной динамики, так и в теории управления можно объяснить рядом факторов. Во-первых, содержание многих оригинальных работ Андропова излагалось очень сжато, и часто в них отсутствовали полные доказательства. Более глубокие изложения не появлялись даже на русском языке вплоть до самой его смерти, и даже они не были доступны большинству инженеров, работавших в области теории управления. Во-вторых, относительно мало работ Андропова появилось на Западе при его жизни, “Теория колебаний” представляет важное исключение. Большинство появившихся переводов было опубликовано после его смерти, поскольку интерес к работам Андропова возник на Западе ранее, и появились они в позднем, существенно пересмотренном виде. Подобно большинству его русских современников, Андронов публиковал результаты своих новых исследований на французском или немецком языках, – все еще главных интернациональных языках для физики и многих других наук в первой половине 20-го столетия. Далее, после середины 30-х годов на публикации советских работ за рубежом власти смотрели с растущим неодобрением, если только эти работы не были специально предназначены для распространения за границей. Андронов умер в 1952 г. в возрасте всего 51 года, задолго до того, как так называемая “современная” теория управления стала широко известна нерусским специалистам и до того, как многие направления исследований, которые он инициировал и поддержал, были полностью разработаны. Хотя некоторые западные ученые и инженеры вскоре ознакомились с тем, что исходило из Советского Союза, знание этих методов широко распространилось на Западе только много позже, когда высокоточное управление ракетными снарядами и космическими кораблями стало главной темой в Холодной Войне. В ряду главных фигур, сыгравших роль в продвижении этой работы в англоязычном мире, – С. Лефшец [7] и Н. Минорский [4]. Последний сослужил неоценимую службу, реферируя основные советские исследования в серии американских правительственных отчетов (первоначально засекреченных); они составили основу опубликованных позднее текстов. Более поздний сборник работ Андропова и его коллег опубликован по-английски в [27]. Перевод от корки до корки некоторых русских научных журналов в конце 50- и в 60-х годах (например, “Автоматики и телемеханики”, начиная с 1957 г.) сильно помог передаче знаний на Запад. Отдельные важные статьи переводились также западными военно-исследовательскими организациями с середины 50-х годов. (Интересно сопоставить этот поздний и спорадический путь передачи информации на Запад с теми усилиями, которые прилагались в России для внедрения западных достижений. В течение 30-х годов, например, Комиссия по автоматике и телемеханике принимала серьезные меры как по реферированию технической и научной литера-

туры в Европе и США, так и по связям с производителями оборудования в области инструментов и управления). В результате всего этого имена коллег и бывших аспирантов Андропова, таких, как Айзерман, Понтрягин и Цыпкин, к примеру, много лучше известны за пределами России, чем его собственное имя.

Хотя Андронов сам по себе был выдающимся физиком и теоретиком в области теории управления, возможно, его величайшим достижением был подход, при котором он развивал автоматическое регулирование как единое целое благодаря своей организационной и педагогической деятельности. В частности, способ, которым он побуждал к исследованиям и вдохновлял своих аспирантов и коллег в двух группах в Горьком и Москве, создавая интеллектуальную обстановку в Советском Союзе в послевоенные годы, где новая дисциплина смогла расцвести, обеспечил ему выдающееся место в истории автоматического управления середины двадцатого века.

В заключение автор хочет выразить свою признательность М.В. Меерову за продолжительные дискуссии и корреспонденцию по теме данной статьи, Дж.А. Баррату, покойному А.Т. Фуллеру, Е.И. Джури, покойному Я.З. Цыпкину и ряду других коллег за обсуждение первоначальных вариантов статьи. Посещения архивов Российской Академии наук (РАН) и Института проблем управления в октябре 1997 и октябре 2000 гг. субсидировались по соглашению об обмене между Британской и Российской академиями наук. За любые неточности, конечно, отвечает только автор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bissell C.C.* A.A.Andronov and the development of Soviet control engineering // IEEE Control Systems Magazine. 1998. V. 17. № 1. P. 56–62.
2. *Bissell C.C.* Control engineering in the former USSR: some ideological aspects of the early years // IEEE Control Systems Magazine. 1999. V. 19. № 1. P. 111–117.
3. *Andronov A.A.* Les cycles limites de Poincare et la theorie des oscillations auto-entretenues // Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris. 1929. V. 189. P. 559–561.
4. *Minorsky N.* The theory of oscillations / Surveys in applied mathematics II. Dynamics and nonlinear mechanics. N.Y.: John Wiley, 1958.
5. *Андронов А.А., Хайкин С.Э.* Теория колебаний. М.: Гостехиздат, 1937.
6. *Горелик Г.Е.* Не успевшие стать академиками / Репрессированная наука. Т. 1. Л.: 1999. С. 335–351.
7. *Andronov A.A., Khaikin S.E.* Theory of oscillations (translated and adopted by S. Lefshetz). Princeton: Princeton University Press, 1949.
8. *Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э.* Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959. Английский перевод: *Andronov A.A., Vitt A.A., and Khaikin S.E.* Theory of oscillations. Oxford: Pergamon, 1966.
9. *Айзерман М.А.* Обзор деятельности А.А.Андропова в области автоматического регулирования / Памяти Александра Александровича Андропова. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1955.
10. *Цыпкин Я.З.* А.А.Андронов и теория автоматического регулирования // АиТ. 1974. № 5. С. 5–10.
11. *Мееров М.В.* Критерии аperiodичности регулирования // Изв. АН СССР, ОТН. 1945. № 12. С. 10–17.
12. *Бойко Е.С.* Александр Александрович Андронов. М.: Наука, 1991.
13. *Bennett S.* A history of control engineering, 1930–1955. Stevenage: Peter Peregrinus, 1993.
14. *Андронов А.А., Майер А.Г.* Задача Мизеса в теории прямого регулирования и теория точечных преобразований поверхностей // Докл. АН СССР. 1944. Т. 4. № 2. С. 54–58.
15. *Айзерман М.А.* Теория автоматического регулирования и управления в Институте автоматизации и телемеханики – Институте проблем управления (1939–74) / Проблемы управления. М.: Изд-во ИПУ АН СССР. 1975.

16. *Мееров М.В.* Исследование и оптимизация многосвязных систем управления. М.: Наука, 1986.
17. *Крылов Н.М., Боголюбов Н.Н.* Введение в нелинейную механику. Киев: Изд-во АН УССР. 1943.
18. *Bissell C.C.* Russian and Soviet contributions to the development of control engineering: a celebration of the Lyapunov centenary // *Trans. Inst. Measurement and Control*. 1992. V. 14. № 4. P. 170–178.
19. *MacFarlane A.G.J. (ed.)* Frequency–response methods in control systems. N.Y.: IEEE Press, 1979.
20. *Андронов А.А., Вознесенский И.Н.* О работах Д.К.Максвелла, И.А.Вышнеградского и А.Стодолы в области теории регулирования машин / Теория автоматического регулирования (Линеаризованные задачи). М.: Изд-во АН СССР, 1949.
21. *Bissell C.C.* Stodola, Hurwitz and the genesis of the stability criterion // *Int. J. Control*. 1989. V. 50. P. 2313–2332.
22. *Bissell C.C.* Textbooks and subtexts // *IEEE Control Systems Magazine*. 1996. V. 16. № 2. P. 71–78.
23. *Vuchinich A.* Empire of Knowledge. The Academy of Sciences of the USSR (1917–1970). University of California Press. 1984.
24. *Андронов А.А.* Вышнеградский и его роль в создании теории автоматического регулирования / Вавилов С.И. и др. Вопросы истории отечественной науки. М.: Изв. АН СССР. 1949. С. 500–517.
25. *Печенкин А.А.* От автоколебаний к самоорганизации: формирование синергетических идей в теории нелинейных колебаний / Концепции самоорганизации в исторической ретроспективе. М.: Наука, 1994. С. 104–124.
26. *Андронов А.А.* Собрание трудов. М.: Изд-во АН СССР, 1956.
27. *Andronov A.A.* Theory of bifurcations of dynamic systems on a plane. Jerusalem: Israel Programme for Scientific Translations, 1971.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Б. Т. Поляком.

Поступила в редакцию 01.03.2001