

Ю. И. Журавлев

А. А. Ляпунов и становление кибернетики в нашей стране

Настоящее издание трудов крупного советского ученого члена-корреспондента Академии наук СССР Алексея Андреевича Ляпунова содержит его важнейшие работы по общим вопросам кибернетики, программированию и теории алгоритмов, машинному переводу и математической лингвистике, кибернетическим вопросам биологии, а также по философским и методологическим проблемам науки. Многие из этих работ публиковались в малотиражных изданиях, практически недоступных в настоящее время. Сейчас эти работы, содержащие глубокие научные идеи, в большинстве случаев несколько не устаревшие, становятся достоянием научных работников — математиков, биологов, лингвистов, инженеров, философов. И те, кому выпало счастье научного общения с А.А. Ляпуновым, и ученые, пришедшие в науку позднее, найдут для себя в этой книге интересные идеи, неожиданные повороты мысли, так характерные для Алексея Андреевича, вспомнят или узнают впервые историю зарождения и становления кибернетики в нашей стране, историю зарождения и становления основных ее направлений, историю формирования самого предмета кибернетики.

Подавляющая по численности часть специалистов, работающих сейчас в различных разделах кибернетики, в той или иной форме испытали на себе влияние научных идей А.А. Ляпунова. Многие ныне успешно работающие кибернетики являются его прямыми учениками или учениками его учеников; многие обязаны ему интересом к научной области, которая становилась для них предметом исследований на долгие годы, а то и на всю жизнь. Однако обычно даже близкие к А.А. Ляпунову сотрудники представляли себе одну или, в крайнем случае, несколько, но не все стороны его исследовательской работы и его размышлений. Для математиков он был математиком, для геофизиков — геофизиком, для биологов — биологом. А.А. Ляпунов был ученым-энциклопедистом, глубоко понимавшим и знавшим разнообразные и часто далекие, друг от друга области науки и плодотворно работавшим во многих областях. Это качество, не так уж часто встречающееся в наш век узких специалистов, определило исключительное положение А.А. Ляпунова в науке вообще и в кибернетике в частности.

А.А. Ляпунов начал заниматься кибернетикой в начале 50-х годов. К этому времени он был сложившимся ученым, известным своими работами в области дескриптивной теории множеств, математической статистики, теории стрельбы, геофизики.

В начале 30-х годов он был учеником и сотрудником известного советского физика академика П.П. Лазарева, затем под влиянием замечательного ученого и педагога академика Н. Н. Лузиина начинает исследования по дескриптивной теории множеств. Это математическое направление было необыкновенно плодотворным и явилось хорошей школой для большого числа крупных математиков.

В обзоре работ А.А. Ляпунова по дескриптивной теории множеств, написанном В.Я. Арсениным и З.И. Козловой и опубликованном в сборнике

«Проблемы кибернетики» [1], основное содержание этой области математики определяется как «изучение связи между способами конструирования множеств (или классов множеств) и внутренними свойствами этих множеств (классов)» *. Из дескриптивной теории множеств такой подход к исследованию распространился и на другие области математики — алгебру, математическую логику и т. д. Для нас важно дать краткое описание основной схемы исследований, так как эта схема является ключом к пониманию значительной части кибернетических работ А.А. Ляпунова.

Даны простейшие или начальные множества. Они обладают «хорошими» свойствами, хорошо устроены, легко изучаются. Вводятся операции над начальными множествами, их применение порождает новые классы множеств. Для этих классов некоторые из исходных «хороших» свойств остаются, другие не сохраняются. Следует выяснить — что остается, что исчезает, как это связано с введенными операциями.

Другая группа проблем — выяснение того, как сильно введенные операции расширяют исходный класс множеств, как устроены объекты полученного класса, как соотносится этот класс с ранее известными и т. п. В дескриптивной теории множеств начальные классы множеств, перечень «хороших» свойств, фундамент для конструирования операций были известны и главное состояло в развитии математического аппарата. В этой области Алексеем Андреевичем было получено много интересных результатов.

Дескриптивная теория множеств была основной сферой деятельности А.А. Ляпунова с середины 30-х до начала 50-х годов, но и позднее он возвращался к ней неоднократно. Основные работы Алексея Андреевича в этой области собраны в его монографии «Вопросы теории множеств и теории функций» (М.: Наука, 1979).

Для человека, успевшего к началу 50-х годов глубоко изучить различные разделы биологии, геофизики, выполнившего оригинальные работы в этих областях, закономерен переход к синтезу наук. В конкретной описательной недостаточно формализованной области науки всегда можно с той или иной точностью определить множество изучаемых объектов. Изучая это множество, можно пытаться разными способами выделить простейшие, легко исследуемые, обладающие «хорошими» свойствами объекты. Следует также выяснить, как более сложные объекты конструируются из более простых (или простейших), т. е. найти операции. Иначе говоря, исходное множество объектов и множество операций не задаются априори, но появляются в результате исследования конкретной области — программирования, лингвистики, биологии и т. п. Далее работает схема исследования, близкая к той, которая так тщательно разработана в дескриптивной теории множеств.

Именно таким образом выстраивались научные концепции, введенные позднее А.А. Ляпуновым в кибернетику.

Основная идея применения дескриптивных методов исследования вне математики возникла у А.А. Ляпунова, по-видимому, еще в 40-е годы. Однако ее реальное воплощение требовало еще одного элемента — возможности практического осуществления задуманных конструкций и проверки

получаемых результатов. Действительно, дескриптивные конструкции сложны и их применение для реальных задач без соответствующих средств автоматизации невозможно. Трудно также осуществить проверку получаемых результатов; в биологии, например, па это уходят годы и десятилетия сложной экспериментальной работы. Был необходим искусственный ускоритель экспериментов. Все это оказалось возможным после появления быстродействующих вычислительных машин и нового научного направления, названного Н. Винером кибернетикой — наукой об управлении.

1 О работах А.А. Ляпунова в области теории множеств см. также обзор В.Я. Арсенина, З.И. Козловой, А.Д. Тайманова: Вклад А.А. Ляпунова в развитие дескриптивной теории множеств. — В кн.: Ляпунов А.А. Вопросы теории множеств и теории функций. М.: Наука, 1979, с. 7—30.

Фундамент кибернетики создавался разными учеными в разных странах задолго до появления книги Н. Винера «Кибернетика» [2]. Так, появление вычислительных машин было в большой степени обусловлено теорией алгоритмов, позволившей представлять любой вычислительный (и не только вычислительный) процесс как последовательность элементарных арифметических операций и логических связей. ЭВМ и возникли как технические средства выполнения таких действий. В рамках математики была создана теория информации, теория синтеза систем, получивших позднее название управляющих, теория игр и т. п. Эти и многие другие направления составили фундамент кибернетики.

Н. Винер ввел новую категорию «управление», показал существенные отличия этой категории от других, например энергии, ввел новый термин «кибернетика», описал несколько задач, типичных для этой науки, обрисовал особую роль вычислительных машин, рассматривая их появление как начало новой научно-технической революции.

Новая наука была названа, но новой науки, как таковой, не было. Был конгломерат отдельных задач, методов, приемов, научных направлений с различными терминами, наборами решаемых задач, сферами применения и т. п.

Из всего этого надо было создать единую науку, точно сформулировать предмет исследования, перечислить и классифицировать множество основных задач, выработать единую терминологию. Значительную часть этой работы проделал А.А. Ляпунов.

Кибернетическая научная деятельность А.А. Ляпунова началась с создания им операторного метода программирования. Этот метод был создан им в начале 50-х годов и получил широкое распространение в реальном программировании и при обучении программированию. Операторный метод был подробно изложен А.А. Ляпуновым в курсе лекций, прочитанном в 1952–1953 гг. для студентов кафедры вычислительной математики механико-математического факультета МГУ, а затем и в более широкой аудитории. Полностью курс не был опубликован, частичная публикация была осуществлена значительно позднее, в 1957—1958 гг.

В настоящий том включена работа А.А. Ляпунова «О логических схемах

программ», опубликованная впервые в 1958 г. [3], содержащая определение программирования как отдельного научного направления, формулировку основного отличия этого направления от классической теории алгоритмов и описание операторного метода.

Сформулированная в этой работе задача программирования как научного направления — это разработка рациональных способов составления программ для решения задач на автоматических быстродействующих цифровых вычислительных машинах. Рациональные способы составления программ должны базироваться на рациональных способах описаний алгоритмов. Языки теории алгоритмов (машины Тьюринга, нормальные алгоритмы, частично рекурсивные функции) расчленяют алгоритм на столь элементарные (атомарные) операции, что описания даже простейших реальных алгоритмов становятся необозримыми. Кроме того, жесткий набор базисных элементарных операций не может во всех случаях давать рациональное представление алгоритма. Поэтому базисные блоки в описании должны быть достаточно крупными и выбираться в зависимости от задачи или класса сходных задач. Блоки связываются между собой логическими условиями, определяющими порядок выполнения блоков, обмен информацией и т. п.

Описание алгоритма через блоки и логические условия было названо А.А. Ляпуновым логической схемой алгоритма (схемой счета), блоки схемы счета А.А. Ляпунов называет операторами счета, иногда — арифметическими операторами. По схеме счета строится логическая схема программы. Для этого вводятся дополнительные блоки-операторы. Они должны после выполнения блока схемы счета или проверки логического условия подготовить все необходимое для работы очередного блока (или логического условия), внести необходимую корректировку после работы предыдущего блока (в зависимости от ее результатов) и т. п. Такие дополнительные операторы получили название операторов управления.

Так, А.А. Ляпуновым вводится два уровня описания алгоритмов: (1) не связанное с программой описание — схема счета и (2) описание, являющееся эскизом программы, — схема программы. В дальнейшем по схеме программы с учетом системы команд и других особенностей конкретной машины составляется программа.

Как пишет Р.И. Подловченко в статье «О вкладе А.А. Ляпунова в теорию программирования» [4]. «аппарат логических схем стал первым языком, позволившим говорить об общих приемах программирования. Совокупность этих приемов получила впоследствии название операторного метода в программировании. Это — метод, в котором процесс составления программы представлен в виде последовательности этапов, каждый с определенной целевой функцией.

Исходной информацией для каждого этапа является запись программируемого алгоритма на одном языке, результатом — запись на другом языке. Всегда предусматриваются следующие этапы: 1) переход от математического описания алгоритма к его описанию в виде схемы счета; 2) переход от схемы счета к схеме программы; 3) переход от схемы программы к самой программе».

Среди других идей А.А. Ляпунова в теории программирования отметим следующие. Схема счета и схема программы могут рассматриваться как алгебраические объекты — формальные записи в некотором языке. Над ними можно выполнять различные эквивалентные преобразования и, следовательно, ставить задачу приведения схемы счета или схемы программы к простейшему или достаточно простому виду. Так возникает идея построения алгебраической теории для представления алгоритмов в некотором языке. А. А. Ляпунов предложил рассматривать логическую схему программы как класс программ [5]. Конкретная программа получается из схемы, если в схеме некоторым способом интерпретировать символы операторов и предикатов. Пусть определена некоторым способом эквивалентность программ. Две схемы называются эквивалентными, если при любой интерпретации входящих в них переменных (операторов и предикатов) получаются эквивалентные программы. А. А. Ляпуновым была поставлена задача отыскания алгоритма, распознающего эквивалентность схем программ, и отыскания полной системы эквивалентных преобразований. Для естественным образом определенного понятия эквивалентности эти проблемы полностью решил ученик А.А. Ляпунова Ю.И. Янов [6]. Постановки А.А. Ляпунова и результаты Ю.И. Янова заложили фундамент алгебраической теории программирования, бурно развивающегося научного направления, в рамках которого получены серьезные теоретические и прикладные результаты. В настоящее время в этой области работают многочисленные научные коллективы как в СССР, так и за рубежом.

Идея «крупноблочного» описания алгоритма, реализованная впервые в операторном методе программирования, оказалась плодотворной в математических направлениях, прямо не связанных с программированием. Такое описание выполнялось в тех случаях, когда при анализе того или иного класса алгоритмов оказывалось, что каждый алгоритм из данного класса может быть подразделен на сравнительно небольшое число блоков и логических связей. Строение отдельного блока в исследовании часто можно игнорировать, он может изучаться как черный ящик; интересно лишь соотношение вход-выход, реализуемое блоком. Когда указанные выше условия выполняются, удается обычно построить обобщимую и достаточно эффективную теорию специализированных алгоритмов. Примером такой теории является теория локальных алгоритмов вычисления информации.

Наконец, А.А. Ляпунову принадлежит идея автоматического программирования, идея создания программы, которая по сжатой особым образом записанной информации о задаче строит программу для решения задачи. Сейчас такие, по терминологии А.А. Ляпунова, «программирующие программы» принято называть «трансляторами».

Создание трансляторов, исследование их строения и принципов их создания — это основное направление в современном программировании. Основателем этого направления, безусловно, является А.А. Ляпунов.

Операторный метод был первым крупным научным исследованием в теории и практике программирования. Он на многие годы вперед определил направления исследований в этой области, на операторном методе воспитано целое поколение программистов. Большинство серьезных исследователей-программистов, работающих сейчас в СССР в этой области,

учились программированию на операторном методе А.А. Ляпунова, многие начинали научную деятельность, развивая и применяя операторный метод. А.А. Ляпунов неоднократно возвращался к теории программирования. В его статьях, написанных в разное время, содержатся интересные для этой области идеи, но основные интересы А.А. Ляпунова перемещаются в другие направления кибернетики.

Исключительно велика роль А.А. Ляпунова в становлении кибернетики в нашей стране. Известно, что первые шаги этой новой дисциплины натолкнулись на разнообразные трудности. Переломным моментом в отношении к кибернетике явилась публикация в журнале «Вопросы философии» статьи «Основные черты кибернетики», написанной Алексеем Андреевичем вместе с С.Л. Соболевым и А.И. Китовым, которой открывается настоящий сборник. В последующие годы А.А. Ляпунов проделал огромную работу по осмыслению основ кибернетики, точному определению ее предмета, классификации основных направлений и задач. Уже в первом выпуске организованной им в 1958 г. серии «Проблемы кибернетики» А.А. Ляпунов помещает статью «О некоторых общих вопросах кибернетики» [7]. Наиболее четко очерчены рамки кибернетики в докладе А.А. Ляпунова и С.В. Яблонского «Теоретические проблемы кибернетики», прочитанном в 1961 г. на Объединенной теоретической конференции философских методологических семинаров. Основные положения этого доклада опубликованы в 1963 г. в сборнике «Проблемы кибернетики» [8]. В статье так определяется предмет кибернетики: «Кибернетика — это наука об общих закономерностях строения управляющих систем и течения процессов управления». Следует отметить, что определение основного объекта кибернетики «управляющей системы» в математических терминах было ранее сделано С.В. Яблонским [9]. В управляющей системе выделяется функционирование системы и ее структура, строение. Система строится из элементарных подсистем, связываемых друг с другом по определенным правилам. Каждая из элементарных подсистем функционирует по своему закону; при соединениях получают различные композиции этих законов, дающие в конце концов закон (или законы) функционирования системы в целом.

Работа «Теоретические проблемы кибернетики» построена на базе определения управляющей системы как объекта, изучением которого занимается кибернетика. Авторы фиксируют основные компоненты определения — схему, информацию, координаты, функцию — и показывают на примерах вычислительной машины, нервной ткани, программы для вычислительных машин, игры в шахматы и т. д., что собой представляют эти компоненты. Проводимый ими анализ убеждает, что все основные компоненты определения управляющей системы имеют реальный смысл и работают при анализе конкретных систем. Но понятие управляющей системы оказывается очень широким и охватывает объекты, традиционно или по существу не относящиеся к кибернетике. Поэтому необходимо выделить подмножество систем — «кибернетических» управляющих систем. Авторы определяют три признака, по которым предлагают выделить управляющие системы, изучаемые кибернетикой: дискретность, сложность системы, многозначность представлений, и дают обоснование для введения этих трех основных признаков. Они отмечают, что хотя дискретность системы может быть сильно замаскированной, она всегда имеет место. Так, например, состояние ячейки

памяти может определяться непрерывной величиной, напряженностью поля, но для работы вычислительной машины важны лишь заданные пороговые значения этой величины.

Кибернетика изучает лишь сложные системы, которые не могут быть изучены непосредственным просмотром элементарных подсистем и их связей. В таких системах всегда много элементарных подсистем, сложно устроены связи между подсистемами, сложными являются законы функционирования. Наконец, неоднозначность представления также является характерной чертой кибернетических систем.

Авторы делят проблемы, изучаемые кибернетикой, т. е. проблемы, возникающие при исследовании дискретных, сложных и неоднозначно представимых систем, на два больших класса. Это проблемы, возникающие соответственно при «макро-» и «микродоходах» к исследованию системы. В работе выделены 12 основных направлений исследований. Четыре из них — выяснение потоков информации, раскрытие кода информации, выявление функций управляющей системы, изучение функционирования управляющей системы — отнесены к макроподходу, остальные — выявление элементов и связей, алгоритмизация, анализ, синтез, эквивалентные преобразования, эволюция, изучение надежности управляющих систем — к микродоходу.

В работе приводится подробная характеристика каждого из двенадцати выделенных направлений, для каждого из них указаны математические (а иногда и не только математические) методы, применяемые в исследованиях данного направления. Указываются также основные задачи, решаемые в рамках этого направления в экономике, технической кибернетике, генетике и т. д.

Рассмотрим, например, девятое направление — синтез управляющих систем. Основная задача здесь ставится следующим образом: «Задан класс функций и задан полный относительно этого класса набор элементов. Требуется из этих элементов построить управляющую систему с заданной функцией. Как правило, задача синтеза имеет несколько решений, поэтому возникает вопрос о выборе предпочтительного решения. Последнее зависит от критерия, определяющего преимущества одной управляющей системы по отношению к другой. Таким образом, сначала в связи с соображениями специфики вопроса происходит выработка критерия. После этого задача приобретает точный смысл и разрабатываются методы синтеза оптимальных управляющих систем». И далее: «Поскольку синтезирование оптимальных управляющих систем требует разработки проекта и эта разработка достаточно трудоемка, то возникает вопрос об автоматизации процесса составления оптимального проекта... В связи с задачей синтеза... часто приходится изучать вопросы, связанные с эффективностью алгоритмов синтеза». По существу понимание проблематики синтеза, куда авторы включают и задачи автоматического проектирования, с тех пор практически не изменилось. Следует только детализировать один пункт — при изучении все более сложных систем все более актуальной становится проблема построения какой-либо приемлемой, но не обязательно оптимальной, управляющей системы. Впрочем, это не противоречит формулировкам статьи, так как построение допустимого решения есть часть процесса синтеза оптимального решения.

Далее для всех двенадцати направлений даны списки задач. Например, для девятого направления, синтеза, это: в программировании — методы построения программ применительно к различным классам задач; в экономике — разработка методов планирования и управления экономикой; в генетике — методы селекционного синтеза желательных генотипов и т. д.

За годы, прошедшие с момента опубликования статьи, в кибернетике и примыкающих к ней научных направлениях появилось большое число терминов, понятий, теорий. Часто терминологический арсенал новых теорий не совпадает с совокупностью терминов, употребляемых в работе А.А. Ляпунова и С.В. Яблонского. Однако все эти теории, нередко претендующие на исчерпывающее (в том или ином смысле) объяснение предмета кибернетики (она также теперь часто обозначается другим словом или словами) и описание ее содержания, в лучшем случае рассматривают некоторое подмножество свойств управляющей системы и некоторое подмножество направлений и задач, описанных в разбираемой работе.

Естественно, что за прошедшие годы возросло число областей науки и практики, в которых стали применяться кибернетические методы. В работе А.А. Ляпунова и С.В. Яблонского перечислены машинно-математические вопросы кибернетики: экономика, ЭВМ, управление производственными процессами, лингвистика, биология. Сегодня к этому списку можно добавить, например, роботонику, психологию, геологию. Такие добавления, очевидно, будут происходить постоянно, и нельзя требовать, чтобы список областей применения был когда-либо зафиксирован.

Все остальное содержание статьи выдержало проверку временем. Несмотря на бурное развитие кибернетики в годы, прошедшие после написания статьи, ни понимание предмета кибернетики, ни ее научное содержание никак не отошли от концепций работы А.А. Ляпунова и С.В. Яблонского.

В работе изложены также основные математические задачи кибернетики как в макро-, так и в микроподходе, перечислены основные методы исследования: статистический анализ, логический анализ, кибернетический эксперимент. Особенное внимание уделяется последнему методу, так как он присущ именно кибернетике и возник как метод в рамках кибернетики. Авторы обосновывают появление кибернетического эксперимента как метода большой сложностью управляющих систем и недостаточностью для их анализа методов статистического и логического анализа. «Кибернетический эксперимент состоит в том, что исходная управляющая система заменяется моделью, которая затем изучается. Принципиально моделирование состоит в создании управляющей системы, изоморфной или приближенно изоморфной данной, и в наблюдении за ее функционированием».

В работе сформулированы основные проблемы, возникающие в связи с развитием методов кибернетического эксперимента (моделирования): 1) точное выяснение цели эксперимента; 2) выработка математического описания изучаемого явления, включая разработку языков для его описания; 3) проведение алгоритмизации; 4) выработка критериев для оценки результатов эксперимента.

В последние годы кибернетический эксперимент, и особенно моделирование

с помощью ЭВМ, становится одним из главных методов исследования сложных кибернетических объектов. В рамках методов кибернетического эксперимента особенно активно развиваются методы имитационного моделирования. Метод состоит в том, что исследуемый процесс записывается с максимально возможной степенью подробности, а затем «проигрывается» с по-

мощью специальных программ на ЭВМ. При достаточно большом числе таких реализаций можно, проведя статистическую обработку результатов, с высокой достоверностью предсказывать — каким будет результат реального осуществления процесса. Если на некоторых этапах процесса возможно вмешательство — управление, то, вводя это управление в программу, можно оценить его влияние на результат, подобрать управление, дающее необходимый эффект, и т. д.

Естественно, на пути реализации такого подхода возникает множество различных трудностей и проблем, исследование которых составляет предмет теории моделирования сложных систем. Эта теория интенсивно развивается в настоящее время (часто под различными названиями). Одним из ее основателей, безусловно, должен считаться А.А. Ляпунов. Он еще на ранней стадии развития кибернетики оценил возможности методов прямого моделирования, указал основные пути его развития, главные трудности и способы их преодоления, провел соответствующие обоснования. В работе «Теоретические проблемы кибернетики» [8] об этом сказано следующее: «Для моделирования характерно то, что модель имеет определенные преимущества перед исследуемой управляющей системой. Так, например, при проектировании систем управления производственными процессами моделирование позволяет проверить правильность замысла и выбрать рациональные значения некоторых параметров конструкции дешевле и быстрее, чем непосредственное построение натурального опытного объекта. В тех случаях, когда исследуемая управляющая система слабо изучена, модель позволяет проверить правильность наших представлений о ней. Такого рода ситуация имеет место при моделировании отдельных функций сознания. Здесь оказывается существенным то, что принципы функционирования модели известны много лучше, чем изучаемой управляющей системы. Программный путь моделирования является наиболее мощным и наиболее распространенным видом кибернетического эксперимента. Этот путь обладает определенной спецификой, благодаря которой возникает ряд дополнительных вопросов... В частности, важно по возможности сократить переборы вариантов, возникающих при решении данной задачи... Нередко встает вопрос об автоматизации процесса программирования алгоритмов, связанных с определенным кругом задач. . .

Хотя кибернетический эксперимент как научный метод появился совсем недавно, однако уже сейчас он находит многочисленные применения и оказывает влияние на выработку точных понятий и отчетливых постановок вопросов». Методы моделирования сложных систем получили развитие и нашли разнообразные применения в работах учеников и последователей А.А. Ляпунова.

В качестве важнейших применений этих методов А.А. Ляпунов указывал задачи исследования производственных процессов и машинный перевод. В

первом направлении фундаментальные результаты получены его учеником членом-корреспондентом АН СССР Н.П. Бусленко. Проблемам машинного перевода посвящен ряд работ А.А. Ляпунова и работы его учеников, в первую очередь О.С. Кулагиной.

А.А. Ляпунов рассматривал машинный перевод как типичную сложную кибернетическую задачу, для решения которой традиционные докибернетические методы исследования недостаточны. Понимая практическую важность этой задачи, он в то же время считал, что методологическая ценность исследований в этом направлении огромна именно потому, что проблемы автоматического перевода с одного языка на другой являются принципиально новым классом проблем. Само возникновение и постановка этих проблем возможны лишь в рамках и терминах кибернетики, в них связываются в единый узел трудности, которые в отдельности присущи другим кибернетическим задачам. Поэтому результаты, полученные в области автоматического перевода, определенным образом трансформируясь, должны найти успешные применения во многих, если не во всех областях кибернетики.

Предвидения А.А. Ляпунова неоднократно подтверждались позднее. В настоящее время еще не созданы программы, осуществляющие высококвалифицированный перевод произвольных текстов с одного живого языка на другой. Однако работы по созданию таких алгоритмов и программ привели к развитию новых методов и направлений, часто весьма неожиданных. Например, исследования по автоматическому переводу ввели в практику распознавания образов — одной из труднейших задач современной кибернетики — лингвистические методы распознавания. Исследование и применение этих методов составляют одно из важнейших направлений современной теории распознавания сложных образов — фотоснимков, химических соединений, чертежей и т. п. В связи с появлением большого числа разнотипных ЭВМ и необходимостью их эффективной эксплуатации было создано большое число искусственных языков — языков общения человека с машиной и машин между собой.

В искусственных языках отсутствуют многие явления, порождающие трудности автоматического перевода в естественных языках. Поэтому крайне важные для практических целей задачи трансляции с одного искусственного языка на другой являются облегченным вариантом натуральных задач автоматического перевода.

Особенный интерес А.А. Ляпунова к задачам машинного перевода объясняется как большой практической ценностью этой области исследований, так и ее особым положением в кибернетике как источника и стимула новых теоретических поисков.

Мы ни в коей мере не претендуем на сколько-либо полный обзор работ А.А. Ляпунова в области машинного перевода и математической лингвистики. Такой обзор дан О.С. Кулагиной в статье «О роли А.А. Ляпунова в развитии работ по машинному переводу в СССР» [10], где с полным правом утверждается, что «машинный перевод и математическая лингвистика принадлежат к числу научных областей, в становлении которых А.А. Ляпунов активно участвовал и на развитие которых оказывал большое влияние на

протяжении многих лет» [10, с. 59]. На примере машинного перевода хорошо видна деятельность А.А. Ляпунова как ученого-организатора, человека, генерирующего новые идеи, умеющего найти подходы к решению, казалось бы, неразрешимых задач.

В СССР работы по машинному переводу начались в 1954 г. В это время А.А. Ляпунов создал в Институте прикладной математики АН СССР группу математиков, приступивших к работе в области машинного перевода. В 1956 г. были проведены первые эксперименты по машинному переводу математических текстов с французского языка на русский. Несколько позднее была создана более совершенная система перевода с английского языка на русский [11, 12]. С середины 50-х годов работы группы А.А. Ляпунова непрерывно публикуются в сборниках «Проблемы кибернетики» и других изданиях.

При формировании в 1954 г. первой научной группы А.А. Ляпунову пришлось преодолевать практически всеобщий скептицизм, основанный на том, что представлялось совершенно невозможным решение на несовершенных ЭВМ того времени столь сложной задачи, как автоматический перевод. Как пишет О.С. Кулагина, «...в этот период личные качества Алексея Андреевича, его энергия, умение увлекать людей новыми задачами и перспективами, ораторский талант сыграли как для кибернетики в целом, так и для машинного перевода в частности огромную положительную роль... Можно без преувеличения сказать, что своим возникновением в нашей стране машинный перевод обязан А.А. Ляпунову» [10, с. 59].

Работы по машинному переводу и математической лингвистике постоянно начинают привлекать внимание все большего числа ученых — математиков и лингвистов, создаются научные коллективы в Ленинграде, Киеве, Ереване, Новосибирске и других городах, резко расширяется фронт работ. К концу 50-х годов математическая лингвистика и машинный перевод становятся в СССР признанными, активно развивающимися направлениями в кибернетике. Таким образом, на протяжении каких-нибудь 5—6 лет было создано новое научное направление со сложившейся проблематикой, квалифицированными кадрами, направление, выработавшее в такой короткий срок свои новые методы, получившее серию интересных теоретических и прикладных результатов.

Среди авторов работ по машинному переводу и математической лингвистике того времени фамилия А.А. Ляпунова встречается редко. Объясняется это главным образом тем, что А.А. Ляпунов не считал возможным ставить свою фамилию в том случае, когда он не участвовал до конца в реализации высказанных им идей, на базе которых выполнялась работа. Однако все лично знавшие стиль и манеру работы А.А. Ляпунова хорошо понимают, что все развитие машинного перевода и математической лингвистики в СССР независимо от того, под чьими именами выходили те или иные публикации, является в большой степени результатом его научного и личного влияния.

А.А. Ляпунов до конца своей жизни оказывал большое влияние на это научное направление. Он определил общую стратегию работ, исследовал связи с другими направлениями кибернетики, заботился о сбалансированности теории и практики, о правильном взаимодействии математиков и лин-

гвистов. Чрезвычайно интересны в этом отношении две последние работы Алексея Андреевича, публикуемые в настоящем сборнике: «О методологических вопросах машинного перевода» и «О задачах математической лингвистики». Написанные совместно с учениками, они отражают точку зрения А.А. Ляпунова на проблематику и методологию машинного перевода и математической лингвистики.

Большое место в трудах А.А. Ляпунова занимают работы, связанные с биологией. Еще в 1941 г. А.А. Ляпунов совместно с Ю.Я. Керкисом опубликовал результаты статистической обработки генетических экспериментов [13]. Эта работа выполнялась по инициативе академиков Н.И. Вавилова и А.Н. Колмогорова. А.А. Ляпунов всегда испытывал глубокий интерес к биологии, искал контакты с биологами, активно работал с многими из них, участвовал в полемике, развернувшейся в биологии. А.А. Ляпунов, его ученики и соратники сделали очень много для закладки капитального фундамента теоретической и математической биологии, внесения в эту науку математических и кибернетических идей.

Для работ А.А. Ляпунова характерно, прежде всего, стремление ввести в биологию категории математики и кибернетики, дать определения основных понятий биологии через эти категории и тем самым дать возможность использовать при анализе биологических задач математический и кибернетический аппарат. Наиболее полно А.А. Ляпунов изложил свои взгляды на биологические дисциплины в работе «О кибернетических вопросах биологии» [14], включенной в настоящее издание. В работе в некотором смысле подводится итог деятельности А.А. Ляпунова в области биологии и излагаются фундаментальные концепции теоретической биологии. А.А. Ляпунов делит биологию на эмпирическую, теоретическую и математическую. Задачей теоретической биологии он считает систематизацию и обобщение эмпирического материала, формулировку общих законов природы; задача математической биологии — синтез математических моделей биологических явлений и их исследование математическими методами. Следует особо отметить, что вся подготовительная работа по синтезу математических моделей должна, по мнению А.А. Ляпунова, проводиться в рамках теоретической биологии и что теоретическая биология должна быть ориентирована на проведение такой подготовки.

Далее А.А. Ляпунов излагает «дескриптивно-кибернетический» принцип строения биологии. Биологические процессы раскладываются на элементарные части — акты, в каждом элементарном акте участвует элементарное множество специальных объектов. Исследование элементарных актов и объектов — это первая часть теоретической биологии. Процессы конструируются по определенным законам из элементарных актов (некоторые операции над элементарными актами порождают процессы).

Задача второй части теоретической биологии — изучение способов порождения процессов из элементарных актов и глобальных характеристик процессов, рассмотрение процессов жизнедеятельности с позиций теории систем и процессов управления, т. е. с позиций кибернетики. Существенным является введение в теоретическую биологию понятия иерархичности: элементарные акты и объекты — это системы нулевого уровня, из систем нулевого уровня по определенным правилам (с помощью набора некоторых

операций) конструируются акты и объекты, а может быть и правила, первого уровня. Они служат элементарными объектами для второго уровня и т. д. Естественно, что построение такой иерархии всегда в определенной степени условно. В разных системах отсчета объект может оказаться и на высоком, и на низком уровне иерархии. Однако сам принцип построения дерева биологических систем представляется совершенно правильным. В определении основных уровней иерархии А.А. Ляпунов придерживается классификации Н.В. Тимофеева-Ресовского, выделяя клеточный, организменный, популяционный и биогеоценологический, или ландшафтный, уровни как основные.

Так как биология на всех уровнях изучает живые системы, то следует каким-то образом определить понятия «живое», «жизнь», т. е. указать набор признаков, по которым можно различать живое и неживое. Определение «живого», «живой природы», «жизненных процессов» дано А.А. Ляпуновым в работе «Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов» [15]. Это определение вызывало и вызывает большие споры, имеет своих сторонников и противников. Напомним, что сам А.А. Ляпунов не считал свое определение полностью формализованным: «Для того чтобы с единых теоретических позиций изучать понятие жизни или живого, нужно установить, что именно понимается под жизнью, живым или жизнедеятельностью. Разумеется, здесь речь идет о некотором описании этого понятия на естественнонаучном уровне, а вовсе не о формальном математическом определении» [15]. Это означает, что сам автор допускал возможность детализации, уточнения, дополнений своего определения.

Исходя из кибернетических понятий и принципов, А.А. Ляпунов предложил новый подход к построению классификации живых существ. Он ввел иерархию таксонов. Таксоны высшего уровня определяются по типам химических процессов, которые доставляют организмам энергию. Второй (сверху) уровень классифицируется по признаку наличия или отсутствия автономных жизнеспособных подсистем и т. д. А.А. Ляпунов сформулировал серию проблем, решение которых, безусловно, окажется фундаментальным для понимания сущности биологических процессов. Так, при исследовании эволюции систем живой природы он обращал особое внимание на то, что чем более высокий уровень управления затронет перестройка, тем больший комплекс функций системы изменится и тем вероятнее, что эти изменения окажутся неблагоприятными. Поэтому А.А. Ляпунов высказывает гипотезу, что наиболее типичными в эволюции являются: «а) расширение функций низшего яруса управления... за счет пополнения его новыми структурными элементами; б) образование нового яруса управления между имеющимся нижним ярусом управления и исполнительными органами; в) редукция функций некоторых высоких ярусов управления за счет передачи их вновь возникающим блокам непосредственно подчиненного яруса управления» [14].

Кроме развития общих проблем теоретической биологии, А.А. Ляпунов вместе со своими учениками и коллегами решал конкретные задачи математической биологии, формулировал и исследовал новые математические модели в этой области. Он вместе с О.С. Кулагиной первым применил в математической биологии принцип имитационного моделирования для изучения эволюции популяции [16].

Большое внимание уделял А.А. Ляпунов разработке моделей, основанных на учете сложных балансовых соотношений в динамике. Согласно развиваемым им представлениям основными этапами построения таких моделей должны быть математическая формулировка балансовых соотношений в виде систем уравнений, введение ограничений на входящие в эти уравнения переменные и функции от этих переменных, формирование математических моделей и исследование этих моделей математическими методами. Простейший (или наиболее привычный) вид балансовых соотношений — это законы сохранения энергии или массы. Огромное количество, например, физических фактов есть содержательная (физическая) интерпретация математических результатов, полученных при исследовании балансовых моделей — систем балансовых уравнений указанного выше типа.

Первые математические балансовые модели для биоценозов (сообществ живых существ) были построены в конце 20-х — начале 30-х годов итальянским математиком Вольтерра [17]. А.А. Ляпунов построил и исследовал балансовые модели значительно более сложного вида, учитывающие большое число различных факторов. Так, им был построен первый вариант модели функционирования живых существ в верхнем слое тропической зоны океана [18]. В модели учитывались необходимые для жизни вещества, количество которых ограничено и, следовательно, лимитирует объем и рост биомассы планктона, основные обменные процессы, вводились определенные допущения о распределениях интенсивности процесса по глубине, о типе действия внешних факторов и т. п. В результате модель была описана в виде системы шести дифференциальных уравнений в частных производных с весьма своеобразными краевыми условиями.

А.А. Ляпунов пробудил интерес к исследованию балансовых моделей математической биологии у большой группы талантливых исследователей. В настоящее время работы в этом направлении активно развиваются учениками и последователями А.А. Ляпунова.

Интерес к биологии А.А. Ляпунов сохранил в течение всей своей научной деятельности, а интерес у этого активного по натуре человека никогда не был пассивным. Он всегда был талантливым пропагандистом того, что его интересовало, ему обязательно требовалось поделиться с окружающими своими мыслями, привлечь их к своей работе, к решению интересующих его проблем, обсуждению интересующих его вопросов. В полной мере это относится к биологии. А.А. Ляпунов неустанно требовал от биологов большей точности в постановках задач и формулировках результатов, учил угадывать наиболее интересные и перспективные направления, использовать в своих работах достижения других наук, в первую очередь математики и кибернетики. Эта сторона деятельности А.А. Ляпунова хорошо известна лишь кругу близких ему людей. Она еще ждет своего отражения в научной публикации. Важно только не упустить время, пока все еще в памяти, пока живы многие современники.

Биология привлекала А.А. Ляпунова как одна из тех областей естествознания, которые, накопив большой экспериментальный материал, переходят к построению точных теорий. Этот переходный период требует особенно осторожного и внимательного отношения. Он характерен тем, что легко запутаться в обилии фактов, уйти в сторону от главной дороги. Очень важно

в это время внести ясность в основные понятия и концепции, «навести порядок в доме». Именно это А.А. Ляпунов старался делать в теоретической биологии.

В последние годы в научной деятельности А.А. Ляпунова большое место занимают исследования, посвященные философско-методологическим аспектам науки. Внимание Алексея Андреевича к этим вопросам было естественным следствием присущей ему широты интересов в естествознании, в особенности его интереса к становлению новых научных областей.

Работы, посвященные философии и методологии науки, составляют заключительный раздел книги. В них рассматриваются вопросы анализа развития науки в связи с ее бурным ростом и изменением ее положения в человеческом обществе, вопросы систематизации наук и взаимоотношения различных научных областей, вопросы математизации современного знания и особенности строения современного теоретического знания.

По сути дела в этих работах суммируется опыт исследований и размышлений А.А. Ляпунова в диапазоне необычайной широты: в абстрактнейшей области чистой математики, кибернетике, биологии, лингвистике. Однако философское обобщение этого опыта, те общие положения, которые А.А. Ляпунов при этом формулирует, выходят за рамки названных областей науки. Они представляют интерес для научных работников независимо от их специальности.

Мы уже отмечали выше, что значение сделанного А. А. Ляпуновым в науке не исчерпывается теми результатами и идеями, которые изложены в его публикациях. Тем не менее даже та часть его работ, которая вошла в данное издание, свидетельствует о весомости вклада, сделанного им в естествознание XX в.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсенин В.Я., Козлова З.Я. Обзор работ А.А. Ляпунова по дескриптивной теории множеств. — Проблемы кибернетики, 1977, вып. 32, с. 15—45.
2. Винер Н. Кибернетика. М.: Сов. радио, 1958.
3. Ляпунов А.А. О логических схемах программ. — Проблемы кибернетики, 1958, вып. 1, с. 46—74.
4. Подловченко Р.И. О научном вкладе А.А. Ляпунова в области теории программирования. — Там же, 1977, вып. 32, с. 45—59.
5. Ляпунов А.А. К алгебраической трактовке программирования. — Там же, 1962, вып. 8, с. 235—241.
6. Янов Ю.И. О логических схемах алгоритмов.— Там же, 1958, вып. 1, с. 75—128.
7. Ляпунов А.А. О некоторых общих вопросах кибернетики. — Там же, 1958, вып. 1, с. 5—22.
8. Ляпунов А.А., Яблонский С.В. Теоретические проблемы кибернетики. — Там же, 1963, вып. 9, с. 5—22.
9. Яблонский С.В. Основные понятия кибернетики. — Там же, 1959, вып. 2, с. 7 — 39.

10. Кулагина О.С. О роли А.А. Ляпунова в развитии работ по машинному переводу в СССР. — Там же, 1977, вып. 32, с. 59—71.
11. Кулагина О.С., О машинном переводе с французского языка на русский. — Там же, 1960, вып. 3, с. 181—209.
12. Молошная Т.Н. Алгоритм перевода с английского языка на русский. — Там же, 1960, вып. 3, с. 209—273.
13. Керкис Ю.Я., Ляпунов А.А. О расщеплении гибридов. — ДАН СССР, 1941, 31, - № 1, с. 43—46.
14. Ляпунов А.А. О кибернетических вопросах биологии. — Проблемы кибернетики, 1972, вып. 25, с. 5—39.
15. Ляпунов А.А. Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов. — Там же, 1963, вып. 10, с. 179—193.
16. Кулагина О.С., Ляпунов А.А. К вопросу о моделировании эволюционного процесса с учетом отбора. — Там же, 1966, вып. 16, с. 147—170.
17. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976.
18. Ляпунов А.А. О построении математической модели балансовых соотношений в экосистеме тропических вод океана. — В кн.: Функционирование пелагических сообществ тропических районов океана. М.: Наука, 1971, с. 13—24.