

К. Б. КАРАНДЕЕВ, В. Н. ОХОТСКАЯ,
Б. И. ПУЧКИН, М. П. ЦАПЕНКО
(Новосибирск)

БИОНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВТОМЕТРИИ

Современные задачи научного эксперимента и автоматизации производства связаны с необходимостью измерения множества разнородных независимых или взаимосвязанных величин, распределенных в пространстве и изменяющихся во времени, с необходимостью логического анализа и математической обработки результатов измерений. При этом измерения часто требуется производить без участия человека, например, в случае каких-либо экстремальных условий (радиации, в межпланетном пространстве и пр.). Сопоставление возможностей существующих средств измерительной техники и требований, выдвигаемых упомянутыми задачами, анализ путей развития науки об измерениях уже некоторое время назад выдвинули в число важнейших проблем вопросы теории и практики измерительных информационных систем (ИИС) [1].

Накопленный опыт исследований, проводимых в области ИИС [2], позволил установить, что к настоящему времени при создании новых средств измерительной техники типа ИИС определились пути, ставшие более или менее традиционными. В качестве основных таких путей, в какой-то мере позволяющих реализовать измерительные устройства, необходимые для решения упомянутых выше задач, можно назвать следующие:

1) повышение селективности первичных измерительных преобразователей (датчиков), принципиально приводящее к упрощению измерительных систем, но, как правило, очень сложное, а иногда и нереализуемое в техническом исполнении;

2) усложнение требований к метрологическим и эксплуатационным характеристикам элементов систем с целью уменьшения количества элементов в системе, переносящее центр тяжести исследований на совершенствование существующих или создание новых элементов при практическом сохранении принципов построения систем;

3) использование в измерительных системах автономных устройств обработки измерительной информации (например, универсальных вычислительных машин);

4) детерминированность структуры и функций большинства современных измерительных систем и, следовательно, крайне редкое применение принципов самоорганизации, адаптации, обучения и т. п.

Нетрудно видеть, что определение этих путей как традиционных

правомерно, поскольку тесно связано с их сущностью, состоящей в той или иной модификации систем и их элементов без коренной перестройки основополагающих принципов. Естественно, что такие пути совершенствования ИИС органически не могут позволить достаточно хорошо приблизиться к реализации возможностей ИИС, заложенных в их определении [1].

Один из возможных, на наш взгляд, принципиально новых путей создания ИИС связан с изысканием возможностей использования функциональных и структурных особенностей биологических анализаторов и их элементов [3].

Структуры биологических систем, ответственные за сбор и переработку информации (анализаторы), решают задачи, в какой-то мере аналогичные измерительным задачам научного эксперимента и автоматизации производства,—воспринимают множество разнородных величин, которые характеризуют окружающую среду и могут быть независимыми или взаимосвязанными, распределенными в пространстве и изменяющимися во времени, анализируют ситуацию, описываемую этими величинами, и обеспечивают выработку целесообразных решений. При этом следует иметь в виду, что анализаторы нередко превосходят известные технические средства по чувствительности, быстродействию, динамическому диапазону, надежности, экономичности использования пространства и энергии. Кроме того, очень важная особенность анализаторов состоит в том, что рецепторы каждого анализатора (слухового, зрительного и т. д.) воспринимают различные виды энергии (механическую, электромагнитную и т. д.), а передают в центр временные последовательности электрических импульсов, несущие информацию о входном воздействии. Не менее важна способность периферической части анализаторов прекращать подачу сигналов в центр, когда производная входного воздействия равна нулю или близка к нулевому значению. Короче говоря, биологические анализаторы обладают свойством адаптации к уровню входного воздействия и используют принцип унификации выходных сигналов при помехоустойчивом кодировании.

Отмеченные свойства анализаторов в живом организме реализуются с помощью весьма сложных структур, состоящих из большого количества одновременно воспринимающих и обрабатывающих информацию элементов, причем обработка производится начиная с первой ступени восприятия внешних воздействий. В связи с этим в биологических анализаторах невозможно провести четкую границу между устройствами сбора и устройствами переработки информации. Можно предположить, что использование принципа одновременной работы большого количества элементов позволит создавать системы, обладающие способностью получать результаты измерений с высокой степенью достоверности при относительно невысоких требованиях к метрологическим характеристикам отдельных элементов.

Рецепторы каждого из органов чувств не обладают абсолютной селективностью, т. е. наряду с адекватными раздражителями воспринимают и другие, отвечают на них. И тем не менее, совокупность анализаторов каждой биологической системы решает задачи отдельного определения характеристик внешних воздействий благодаря наличию гибкой, перестраиваемой структуры, обеспечивающей необходимые в таком случае процессы обучения и адаптации.

Нетрудно видеть, что все перечисленные особенности биологических анализаторов выгодно отличают их от современных аналогичных по назначению технических устройств. Поэтому нам представляется, что использование функциональных и структурных особенностей биоло-

гических анализаторов при изыскании новых путей создания ИИС может существенно изменить черты современной измерительной техники.

В настоящее время можно выделить три направления исследований такого рода. Первое — изыскание принципов построения новых элементов (в том числе и первичных измерительных преобразователей) на основе изучения и моделирования функций отдельных элементов биологических анализаторов. Второе — разработка новых путей создания методов и средств измерения с использованием функциональных и структурных особенностей биологических анализаторов. Третье — синтез комбинированных систем, в которых сбор и первичная переработка измерительной информации осуществляются биологической системой, а дальнейшее использование этой информации поручается техническим устройствам.

Естественно, что проведение исследований в указанных направлениях требует наличия данных о биологических прототипах, причем эти данные должны отражать количественные соотношения между характеристиками воздействий на входе анализатора и вызванными биопотенциалами на разных уровнях анализатора, адресованными как в центр, так и элементам соседних уровней по направлению к периферии. К настоящему времени в биологии накоплено много сведений о структуре и функциях анализаторов и их элементов, но в большинстве своем это сведения описательного характера. Если попытаться построить функционально-структурную схему любого анализатора, то в ряде случаев даже и в этих описательных данных обнаруживаются пробелы, большинство которых относится к наиболее интересной для измерительной техники области — воздействию внешнего стимула на рецепторную часть анализатора, к области первичных процессов восприятия информации. Сложившаяся ситуация определяет необходимость специально направленных биологических исследований, имеющих целью получение результатов, которые могут быть положены в основу моделирования. Такие исследования потребуют уточнения и разработки методик изучения вызванной активности в анализаторах, подбора и создания оборудования, изыскания методов и средств обработки результатов эксперимента. Понятно, что результаты таких исследований нескоро еще смогут быть получены, поэтому возможным путем использования биологических данных является обобщение имеющихся сведений о различных анализаторах и построение рабочих гипотез в качестве исходных для моделирования [2]. При таком подходе представляется целесообразным учитывать, что в процессе эволюции при формировании анализаторов «использовались» главным образом одни и те же принципы, а специфика появлялась лишь там, где она совершенно необходима, и в первую очередь на уровне рецепции раздражений.

Рабочие гипотезы могут быть разными по полноте охвата явления, подлежащего реализации, и по сложности явления. Но не сложность явления или гипотезы определяет ее плодотворность, а степень приближения к сущности живого прототипа. Об этом свидетельствуют такие технические устройства, построенные на основании изучения особенностей живых организмов, как гироскоп, указатель скорости самолета относительно земли, прибор для улавливания инфразвуков, возбуждаемых штормом, не говоря уж о многочисленных моделях нейронов [4]. Такой методологический путь избран и в исследованиях, проводимых под руководством и при участии авторов настоящей статьи в Институте автоматизации и электрометрии Сибирского отделения АН СССР. Практическая реализуемость избранного пути иллюстрируется кратко изложенными ниже результатами исследований, выполненных в институте.

Следует отметить, что в этом изложении охвачены далеко не все упомянутые проблемы.

Построение рабочей гипотезы, своего рода концептуальной модели обонятельного анализатора, охватывающей все его функции, начиная от столкновения молекул пахучего вещества с рецепторной частью и кончая формированием ощущения с предметной оценкой запаха, обнаружилось непреодоленные до сего времени трудности. При достаточно женные различными авторами и частично подтверждавшиеся на начальной стадии прямым или косвенным экспериментом, не выдерживают проверки сопоставлением со всеми имеющимися фактами, полученными в психофизических опытах, в электрофизиологических исследованиях [6]. Естественно поэтому, что известные к настоящему времени физические модели, так или иначе связанные с восприятием запаха, построены на весьма упрощенных по охвату явления гипотезах. Во всех этих моделях основой служит явление адсорбции пахучего вещества с последующей оценкой эффекта адсорбции по значению контактного потенциала [7], теплоте адсорбции [8], изменению состояния электролита [9], воздействию на двойной слой в электролитическом устройстве [10]. Три последние модели были воспроизведены, исследованы и показали свойства, близко совпадающие с полученными их разработчиками.

Особый интерес представляет модель, в которой носителем информации о входном воздействии является теплота адсорбции. Мы отдаем себе отчет в том, что при восприятии запаха биологическими системами теплота адсорбции может и не быть единственным носителем информации. Но, с другой стороны, явление адсорбции на обонятельной слизистой можно считать доказанным [8]. А если это так, то этот поток информации мог быть использован в эволюционном процессе формирования обонятельного анализатора биологических систем. Рассматриваемая модель представляет собой термосопротивление, покрытое адсорбирующей пленкой. При адсорбции пахучего вещества изменяется температура, а следовательно, и сопротивление термистора, что фиксируется с помощью мостовой схемы в виде импульса напряжения с растянутым задним фронтом. Модели свойственна адаптация к неизменному уровню входного воздействия: при непрерывной подаче пахучего вещества в данной концентрации и с неизменным расходом выходной сигнал через некоторый промежуток времени становится равным нулю. Повторная реакция модели на пахучее вещество в той же концентрации возможна лишь после десорбции вещества, осуществляемой при продувке датчика чистым воздухом. Если, не изменяя скорости потока в датчике, уменьшить концентрацию, к которой модель уже адаптировалась, то фаза выходного сигнала изменится на 180° за счет десорбции вещества с датчика в поток.

Как и следовало ожидать, каждый из обследованных материалов сорбирующей пленки обладает предпочтительной адсорбцией одного или нескольких из 39 обследованных пахучих веществ. Количественно такая селективность датчиков оценивается различием максимальных значений выходных сигналов схемы на один-два порядка (рис. 1). Зависимости выходного сигнала от концентрации вещества в общем не-

линейны, неодинаковы для разных веществ на данной исследуемой поверхности. Свойством исследователей обоняния, а в некоторых случаях специфичности придается решающее значение [12, 13].

В настоящее время детально изучаются воспроизводимость и стабильность характеристик преобразования некоторых адсорбционных датчиков.

Недостаточность биологических сведений о функциональных и структурных особенностях биологических анализаторов при

стремлении использовать эти особенности в интересах разработки новых методов и средств измерения привела к необходимости построения рабочей гипотезы в виде схемы (рис. 3) структурно-функциональной организации обобщенной биологической анализаторной системы (БАС). Было признано целесообразным выделить основные принципы организации БАС, руководствуясь которыми, можно было бы разумно провести систематизацию биологических данных и там, где это возможно, перейти к абстрактным моделям, полезным в измерительном аспекте проблемы [2]. Следует подчеркнуть, что набор структурных элементов схемы соответствует набору фактических (в основном) и предполагаемых (частично) функций БАС, а не ее морфофизиологической структуре, особенно на периферии.

Адекватные раздражители, играющие роль внешних сигналов, оптимальным образом улавливаются в наружных органах формирования восприятия (НОФ) (см. рис. 3), формируются и поступают в рецептивную нейронную сеть (РНС), где преобразуются в электрические потенциалы распространяющегося возбуждения. На уровне РНС поток информации подвергается обработке за счет операций суммирования, кодирования и перестройки РНС, позволяющей оптимизировать восприятие в широком диапазоне изменения входных величин на основе взаимодействия процессов торможе-

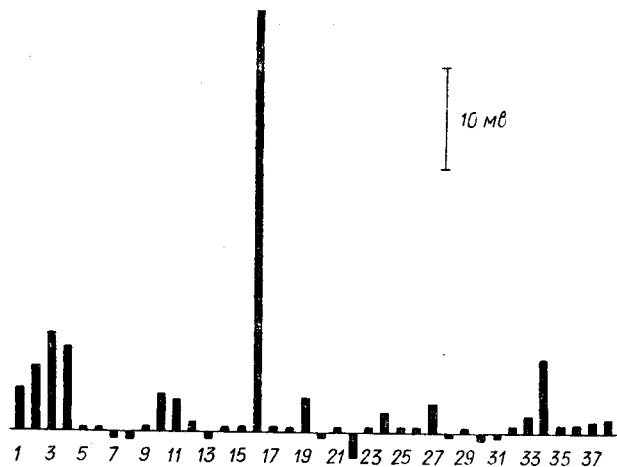


Рис. 1. Гистограмма ответов с пленкой из эмалита.

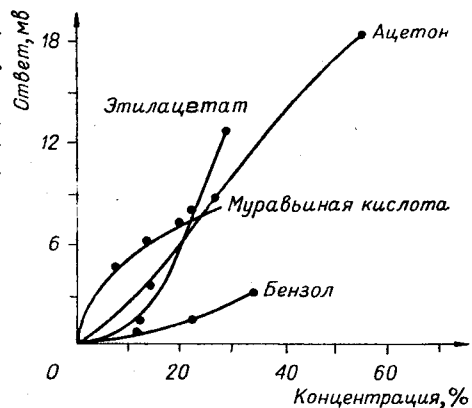
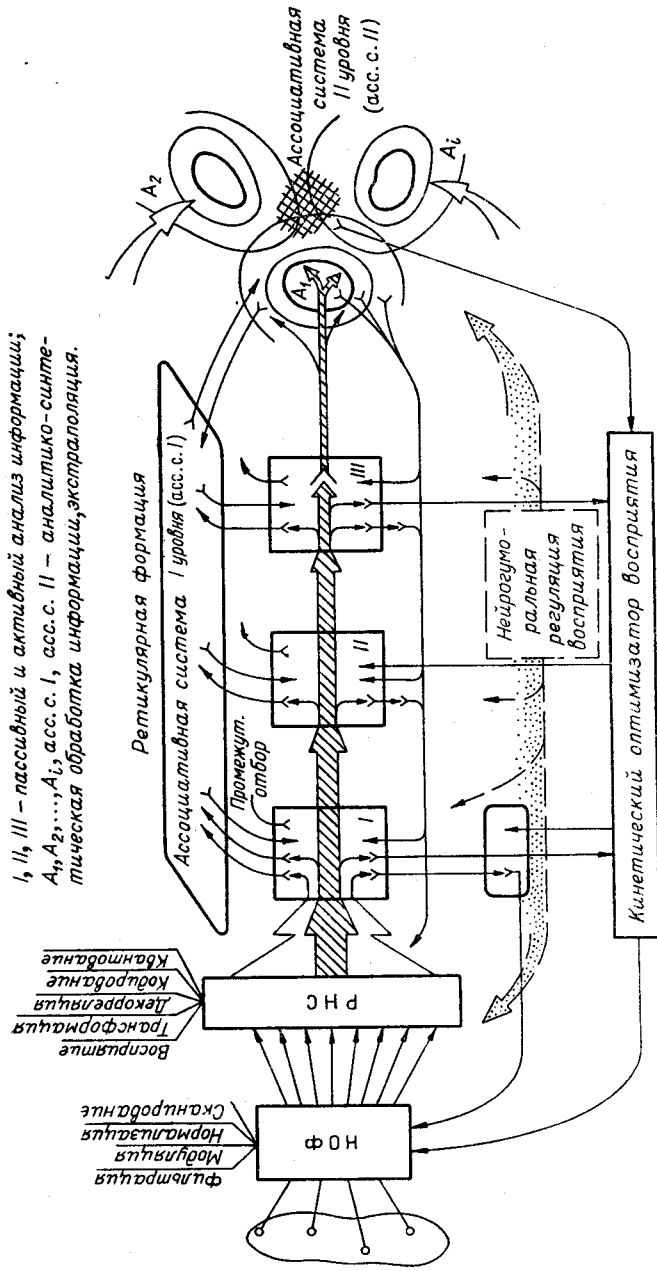


Рис. 2. Характеристики преобразования датчика с пленкой из агара для различных веществ.



I, II, III – пассивный и активный анализ информации;
 A₁, A₂, ..., A_i, асс.с. I, асс.с. II – аналитико-синте-
 тическая обработка информации, экстраполяция.

Рис. 3. Схема обобщенной БАС.

ния и возбуждения [14—17]. Из отдела РНС импульсы по нервному тракту поступают в высшие отделы БАС в виде сообщения пространственно-временного характера, причем временные сдвиги обусловлены различием скоростей проведения в разных волокнах тракта. В нейронной сети ядер *I* в результате декодирования информации, пришедшей из РНС, замыкаются простейшие рефлекторные регуляции процесса восприятия [18]. Как правило, в ядрах этого отдела оканчиваются волокна, идущие от участков РНС, ответственных за высокую чувствительность, и поэтому позволяющих весьма точно фиксировать появление в «зоне действия» анализатора новых или изменение интенсивности присутствовавших ранее источников информации о внешней среде.

Часть волокон, прошедших без переключения предыдущий отдел, подходит к ядрам среднего мозга *II*, несущим ответственность за ориентировочную деятельность, направленную на повышение чувствительности БАС при недостатке априорных сведений об адекватном раздражителе. Замыкание ориентировочного рефлекса осуществляется не только чисто нервным путем, но и включением нейрогуморальных механизмов, относящихся к регуляции уровня возбудимости РНС [19].

В межучточном мозге *III* представлены ядра всех анализаторов внешней среды, хорошо связанные между собой развитой системой ассоциативных связей. По большинству данных все волокна тракта БАС имеют здесь переключение. В этом отделе замыкаются сложные безусловные рефлексы и базирующиеся на них более сложные виды деятельности — эмоции, инстинкты. Отсюда идут управляющие воздействия в нижележащие отделы анализатора и в центры нейрогуморальной регуляции, осуществляются более тонкие двигательные акты, оптимизирующие процесс восприятия [20].

Таким образом, корковые проекционные поля БАС выполняют следующие операции [18, 21—23]: а) определение сигнального значения раздражений и систем отношений между сигналами на основе анализа и синтеза раздражений; б) программирование ответных реакций в результате интеграции совокупности афферентной сигнализации, сопоставления ее с закрепленным в филогенезе фондом целесообразных рефлекторных координаций.

Все промежуточные отделы БАС имеют отведения в ретикулярную формацию, роль которой в общем сводится к генерализации нервной активности различных отделов БАС [24].

В заключение описания схемы обобщенной БАС мы должны отметить, что эта схема включает в себя все достаточное, но не всегда необходимое. Действительно, зрительный анализатор не имеет представителя в продолговатом мозгу, обонятельный анализатор не связан непосредственно со средним мозгом. Иными словами, рассматривая любой анализатор как частный случай обобщенной БАС, нужно говорить об особенностях его структуры. Но с функциональной стороны общность анализаторных систем с очевидностью показана во многих работах [14, 18, 19, 25, 26]. Кроме того, не следует упускать из виду цель создания такой схемы — изыскание принципов построения новых методов и средств измерения, что объясняет и оправдывает некоторые отклонения от фактов ради получения синтетического представления, подчеркиваемого нами в определении словом «обобщенная».

Проведенное выше рассмотрение БАС позволяет отметить некоторую общность ее организации и принципа построения ИИС (рис. 4), отвечающего сформулированной в начале статьи задаче. Эта общность определяется сходством целей, для достижения которых предназначаются БАС и ИИС. В то же время БАС обладает структурной избы-

точностью, иерархичностью, экстраполирующими свойствами, чего пока нельзя сказать применительно к ИИС.

Предположение о структурной избыточности БАС возникает на основании наличия множества однородных элементов (нейронов, нервных волокон, синапсов и т. д.), не имеющего пока исчерпывающего биологического объяснения, и сопоставления с избыточностью, вводимой в технические системы с целью повышения надежности, взаимозаменяемости, помехоустойчивости, точности, быстродействия, т. е. для достижения свойств, которыми обладает БАС. Если учесть, что эффективное функционирование БАС в значительной мере обеспечивается за счет организации РНС, техническим аналогом которой хотелось бы видеть устройства восприятия информации ИИС (см. рис. 4), то можно

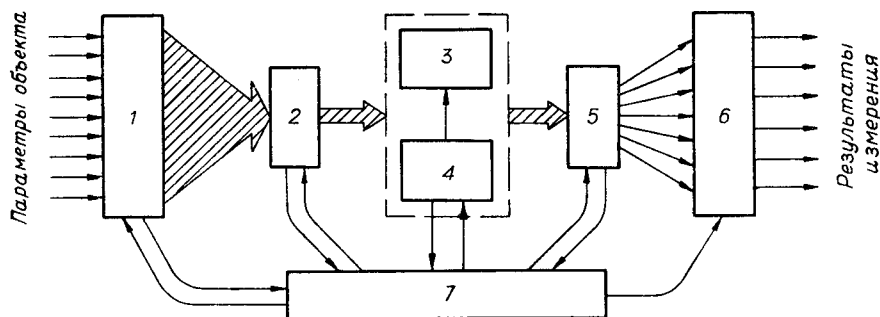


Рис. 4. Схема ИИС:

1 — входное устройство; 2 — первичная обработка информации; 3 — устройство сравнения; 4 — образцовые величины; 5 — вторичная обработка информации; 6 — выходное устройство; 7 — устройство управления.

полагать, что выяснение механизмов, лежащих в основе работы РНС, представляет несомненный интерес. Основные определения и гипотезы, относящиеся к структуре и функциям РНС, сформулированы в [2, 27] и состоят в следующем.

1. Взаимодействие организма с внешней средой, параметры которой, как правило, имеют распределенный характер в пространстве и времени, привело к образованию совершенной системы воспринимающих приборов-рецепторов и промежуточных нервных элементов, организованных вполне определенным образом в РНС. Основным структурно-функциональным элементом РНС является рецептивное поле (РП).

2. Функционально РП можно подразделить на интегральные, ответственные за высокую чувствительность БАС, дифференциальные, ответственные за высокую разрешающую способность БАС, и комбинированные.

3. Интегральное РП имеет один выход, горизонтальная интегративная сеть отсутствует. Число выходов дифференциального РП в пределе может быть на единицу больше числа входов; дифференциальное РП имеет горизонтальную интегративную сеть.

4. В зависимости от «сложности» описания входного сигнала и его «зашумленности» РП может иметь более одного слоя.

5. В пределах РП все операции производятся над аналоговыми сигналами и охватывают: а) восприятие сигналов различной модальности и преобразование их сигнала в электрический потенциал «местного» возбуждения, а затем в пиковый потенциал распространяющегося возбуждения; б) кодирование и квантование сигналов.

6. РП является самонастраивающейся системой, в общем случае с переменными параметрами.

7. Пороги срабатывания РП являются случайными величинами, однако множество РП может быть статистически устойчивым в смысле регулярности его статистических характеристик.

В связи с анализом избыточной организации РНС решены две частные задачи [27]. Во-первых, на модели одиночного интегрального РП получено выражение, связывающее точность РП как линейного аналогового преобразователя информации с количеством рецепторов, их характеристиками, вероятностными свойствами и разрешающими функциями интегрирующего элемента. Во-вторых, показано, что множество независимых РП, пороги срабатывания которых близки друг к другу и имеют случайный характер, теоретически может служить статистической («скрытой») мерой в измерительных устройствах, работающих по методу совпадения. Оба эти результата, хотя и имеют частный характер, показывают, что учет структуры и функций РНС открывает возможность построения функциональных звеньев ИИС в общем случае на нестабильных, имеющих технологический разброс и подверженных влиянию внешней среды элементах. Кроме того, эти результаты в точных терминах описывают отдельные стороны избыточной организации РНС обобщенной БАС и ставят ряд специальных задач перед биологией.

Анализ биологических данных о принципах функционирования БАС как иерархической системы заставляет думать о том, что раскрытие и использование этих принципов приведет к значительному прогрессу в области автоматических систем. Использование принципа иерархичности в ИИС сейчас только лишь приобретает вид проблемы. В какой-то части особенности иерархической организации воплощены в системе «Центротехника» [28]; обсуждение этого вопроса применительно к системам сбора и переработки информации содержится в [29, 30].

В работах [19, 23, 31] биологический смысл и принципиальная основа экстраполирующих функций БАС получили достаточное разъяснение, из которого следует, что «элементарным» механизмом, проявляющим свойства экстраполяции, являются ориентировочные реакции организма. В информационном аспекте это реакция на неопределенность ситуации, направленная на устранение неопределенности путем активного поиска (сбора дополнительной информации) и перестройки структуры БАС (изменения алгоритмов переработки информации) [32].

Отмечая в каждом отдельном случае именно те особенности БАС, исследование и реализация которых, по нашему мнению, могут принести пользу для развития автотетрии, полагаем, что основные усилия исследователей, работающих в данной области, должны быть устремлены в следующих направлениях.

1. Дальнейшее исследование периферического отдела БАС — РНС и РП, включая методы моделирования, с целью получения достаточно полных данных об особенностях работы, которые могут быть эффективно использованы при создании новых средств измерения и их элементов, равно как и новых методов измерения.

2. Широкое изучение нейронных сетей БАС, разработка новых методов их формального представления с целью создания физических моделей, обладающих свойствами обучения, самонастройки, самоорганизации — основными чертами иерархических систем.

3. Исследование ориентировочных реакций БАС как простейших проявлений экстраполирующей деятельности системы с целью разработки принципов построения ИИС, работающих в условиях неполной априорной информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Б. Карандеев. Измерительные информационные системы и автоматика.— Вестник АН СССР, 1961, № 10.
2. Л. И. Пинчук, М. П. Цапенко. Биологические анализаторы и измерительные информационные системы.— В сб. «Проблемы электрометрии». Новосибирск, «Наука», 1967.
3. К. Б. Карандеев, Б. И. Пучкин. Бионика и измерения.— Измерительная техника, 1964, № 4.
4. А. И. Берг, Б. С. Сотсков. Бионика. Состояние и тенденции развития.— Наука и жизнь, 1966, № 6.
5. Р. М. Мазитова, В. Н. Охотская, Б. И. Пучкин. Обоняние и его моделирование. Новосибирск, «Наука», 1966.
6. Р. Х. Райт. Наука о запахах. М., «Мир», 1966.
7. A. R. F. Lays. Groundwork for Synthetic Nose — Chemical and Engineering News, 1961, April 3.
8. R. W. Moncrieff. An Instrument for Measuring and Classifying Odours.— Journal of Applied Physiology, 1961, v. 16, 4 July.
9. Electric Nose Sensitive.— Science News Letters, 1963, v. 84, № 12.
10. Walter F. Wilkens, John D. Hartman. An Electronic Analog for the Olfactory Processes.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 1964, v. 116, № 2, July 30.
11. В. Н. Охотская, Б. И. Пучкин. Моделирование специфичности обонятельных рецепторов.— В сб. «Проблемы электрометрии». Новосибирск, «Наука», 1967.
12. E. D. Adrian. The Opening address.— "Olfaction and Taste". Ed. by Y. Zotterman. Symposium Publications Division. Oxford — London — New York — Paris, 1963.
13. R. C. Gesteland, J. Y. Lettvin, W. H. Pitts, A. Rojas. Specificities of the Frog's Olfactory Receptors.— "Olfaction and Taste". Ed. by Y. Zotterman. Symposium Publications Division. Oxford — London — New York — Paris, 1963.
14. Р. Гранит. Электрофизиологические исследования рецепции. М.—Л., Изд-во иностр. лит., 1957.
15. В. Д. Глезер. Рецептивные поля сетчатки. Автореф. докт. дисс. М., 1963.
16. В. Д. Глезер, И. И. Цукерман. Информация и зрение. М., Изд-во АН СССР, 1961.
17. А. Л. Бызов. Электрофизиологические исследования сетчатки. М., «Наука», 1966.
18. Г. И. Поляков. О принципах нейронной организации мозга. М., Изд-во МГУ, 1965.
19. Е. Н. Соколов. Восприятие и условный рефлекс. М., Изд-во МГУ, 1958.
20. Л. А. Латманисова. Лекции по физиологии нервной системы. М., «Высшая школа», 1965.
21. И. П. Павлов. Полное собрание сочинений, т. III, 1951.
22. Н. М. Амосов. Моделирование мышления и психики. Киев, «Наукова думка», 1965.
23. П. К. Анохин. Теория функциональной системы как предпосылка к построению физиологической кибернетики.— В сб. «Биологические аспекты кибернетики». М., Изд-во АН СССР, 1962.
24. Г. Мэгун. Бодрствующий мозг. М.—Л., Изд-во иностр. лит., 1961.
25. Г. В. Гершуни. Задачи и трудности в изучении биологических анализаторных систем.— В сб. «Биологические аспекты кибернетики». М., Изд-во АН СССР, 1962.
26. И. А. Шевелев. Синхронизация начального афферентного потока в зрительной системе.— Журнал высшей нервной деятельности, 1965, т. XV, вып. 3.
27. Л. Е. Пинчук, Г. И. Салов, В. А. Федоров, М. П. Цапенко. Избыточность в рецептивных нейронных сетях и анализ некоторых путей ее использования для построения новых средств измерения.— Тезисы докладов и сообщений II симпозиума по использованию избыточности. Л., 1966.
28. Ф. Е. Темников. Новые принципы центротехники.— Приборостроение, 1961, № 4.
29. К. Б. Карандеев и др. Электрические методы автоматического контроля. М.—Л., «Энергия», 1965.
30. В. А. Трапезников. Автоматическое управление и экономика.— Автоматика и телемеханика, 1966, № 1.
31. Н. А. Бернштейн. На путях к биологии активности.— Вопросы философии, 1965, № 10.
32. Е. Н. Соколов. О моделирующих свойствах нервной системы.— В сб. «Кибернетика, мышление, жизнь». М., «Мысль», 1964.

*Поступила в редакцию
2 февраля 1967 г.,
окончательный вариант —
10 мая 1967 г.*