



УДК 681.3

EDN UUNOHQ

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-4-456-478>

Внедрение вычислительной техники в Институте физиологии им. И. П. Павлова РАН

В. Н. Чихман ¹, С. Д. Солнушкин ¹

¹Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 199034, Россия, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6

Сведения об авторах

Валерий Николаевич Чихман, SPIN-код: 2405-9435, Scopus AuthorID: 6701761501, ResearcherID: MFI-3551-2025, ORCID: 0000-0002-4955-4608, e-mail: chikhmanvn@infran.ru

Сергей Дмитриевич Солнушкин, SPIN-код: 3827-6155, Scopus AuthorID: 6602924586, ORCID: 0000-0003-4009-6716, e-mail: solnushkin@list.ru

Для цитирования: Чихман, В. Н., Солнушкин, С. Д. (2025) Внедрение вычислительной техники в Институте физиологии им. И. П. Павлова РАН. *Интегративная физиология*, т. 6, № 4, с. 456–478. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-4-456-478> EDN UUNOHQ

Получена 9 июля 2025; прошла рецензирование 15 сентября 2025; принята 19 сентября 2025.

Финансирование: Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета в рамках государственного задания ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН (№ 1021062411645-5-3.1.8).

Права: © В. Н. Чихман, С. Д. Солнушкин (2025). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY 4.0.

Аннотация. Представлен исторический обзор этапов внедрения средств вычислительной техники в физиологических исследованиях, проводимых в Институте физиологии им. И. П. Павлова РАН. Приводятся названия и описания используемых в разное время средств вычислительной техники, их технические характеристики и особенности. Описаны разработанные устройства для количественного измерения физиологических сигналов, их преобразования и ввода в вычислительную машину для накопления в памяти и дальнейшей обработки. Представлены устройства, реализованные как на больших универсальных ЭВМ, так и на появившихся в результате эволюции мини- и микроЭВМ. Наряду с описанием разработанных аппаратных средств приведены примеры решённых с их помощью физиологических задач. Для эффективного применения средств автоматизации эксперимента была выработана концепция построения проблемно-ориентированных средств с использованием базы данных, графического отображения сигналов в реальном времени. Приведены примеры создания в рамках этой концепции проблемно-ориентированного аппаратно-программного обеспечения для различных физиологических экспериментов. Например, для автоматизации исследований дыхания, исследования кровеносной и лимфатической систем, для обработки импульсной активности нейронов, организации управляемого стимулирующего воздействия на лабораторное животное в поведенческих экспериментах, автоматизации психофизических экспериментов по изучению зрительного восприятия и др. Названы имена математиков, программистов, инженеров, техников, участвовавших в освоении и сопровождении средств вычислительной техники в институте.

Ключевые слова: вычислительные устройства, электронные вычислительные машины, история вычислительной техники, компьютеры, информационные технологии, математическое моделирование, вычислительный центр

Implementation of computer technology at the Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences

V. N. Chikhman ¹, S. D. Solnushkin ¹

¹ Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 6 Makarova Emb., Saint Petersburg 199034, Russia

Authors

Valeriy N. Chikhman, SPIN: [2405-9435](#), Scopus AuthorID: [6701761501](#), ResearcherID: [MFI-3551-2025](#), ORCID: [0000-0002-4955-4608](#), e-mail: chikhmanvn@infran.ru

Sergey D. Solnushkin, SPIN: [3827-6155](#), Scopus AuthorID: [6602924586](#), ORCID: [0000-0003-4009-6716](#), e-mail: solnushkin@list.ru

For citation: Chikhman, V. N., Solnushkin, S. D. (2025) Implementation of computer technology at the Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences. *Integrative Physiology*, vol. 6, no. 4, pp. 456–478. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-4-456-478> EDN UUNOHQ

Received 9 July 2025; reviewed 15 September 2025; accepted 19 September 2025.

Funding: The work was carried out at the expense of the federal budget within the framework of the state assignment of the Pavlov Institute of Physiology RAS (No. 1021062411645-5-3.1.8).

Copyright: © V. N. Chikhman, S. D. Solnushkin (2025). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY License 4.0](#).

Abstract. The article provides a historical overview of the stages of computer technology implementation in physiological research conducted at the Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences. It discusses names and descriptions of computer technology used at different periods, along with their technical characteristics and features. It also describes devices developed for the quantitative measurement of physiological signals, including their transformation and input into computers for memory storage and subsequent processing. The systems discussed range from large general-purpose computers to the mini- and microcomputers that emerged as technology evolved. Along with the description of the developed hardware, the article provides examples of physiological problems addressed using these tools. To facilitate the effective use of experimental automation, a concept was developed for constructing problem-oriented tools incorporating databases and real-time graphical display of signals. Examples of problem-oriented hardware and software for various physiological experiments within the framework of this concept are given, including automation of respiration studies, investigation of the circulatory and lymphatic systems, processing of neuronal impulse activity, organization of controlled stimulation in behavioral experiments, and automation of psychophysical studies on visual perception, among others. The article acknowledges the names of mathematicians, programmers, engineers, and technicians who participated in the development and maintenance of computer technology at the Institute.

Keywords: computing devices, electronic computers, history of computing technology, computers, information technology, mathematical modeling, computing center

Введение

Постоянная потребность в ускорении выполнения и в расширении счётных операций на всём протяжении существования и развития человечества была и является причиной появления многочисленных изобретений и открытий, воплотившихся в множестве счётных устройств и механизмов — от примитивных приспособлений в виде абака до современных индивидуальных смартфонов и суперЭВМ для реализации систем искусственного интеллекта.

Во многих публикациях рассмотрены эволюционные и революционные этапы создания средств вычислительной техники от древних времён до сегодняшнего дня (Гутер, Полунов 1981; Полунов 2004). В ряде работ приведены

сведения об изобретениях и открытиях в науке и технике, способствовавших развитию вычислительных средств, опубликованы параметры классификации вычислительных средств по типам, назначению, техническим характеристикам (Апокин, Майстров 1990; Казакова 2011; Чихман 2025). Вычислительные устройства широко используются во всех областях жизни и, конечно, являются важнейшей частью методического обеспечения научных физиологических исследований. Современные физиологические экспериментальные исследования трудно представить без внедрения и совершенствования методов измерения разнообразных параметров исследуемых организмов, проведения расчётов при широко используемых приёмах математического моделирования.

В статье приводится исторический обзор этапов внедрения вычислительных устройств в Институте физиологии им. И. П. Павлова РАН.

Счётные устройства и аналоговая техника

Институт физиологии им. И. П. Павлова АН СССР был основан в 1925 году. Можно предположить, что в качестве счётных инструментов, например для выполнения бухгалтерских работ, в институте в 1920-х годах использовали обыкновенные русские счёты (один из вариантов абака). Вполне вероятно, что для выполнения различных расчётов учёные института могли использовать в качестве вычислительного инструмента логарифмическую линейку. В послевоенные годы и вплоть до 1970-х годов в бухгалтерии и научных подразделениях института применяли механические арифмометры «Феликс». Со временем для расчётов стали использовать разнообразные электронные калькуляторы (рис. 1).



Рис. 1. Электронный калькулятор (Источник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Casio_fx-991ES_Calculator_New.jpg)

Fig. 1. Electronic calculator (URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Casio_fx-991ES_Calculator_New.jpg)

В 1960-х годах по мере внедрения в физиологические исследования математических методов в лабораториях института появились аналоговые вычислительные устройства (Бороздин и др. 1980; Кожевников, Мещерский 1963; Романов 1974, 1975). Аналоговая вычислительная машина представляет числовые данные при помощи физических параметров, например таких, как электрическое напряжение (Смолов 1972). То есть входные, промежуточные и выходные данные аналоговой машины представляют напряжения — непрерывные аналоги математических переменных решаемой биологической задачи. Эти напряжения преобразуются операционными усилителями и потенциометрами, которые выполняют математические операции сложения, вычитания, умножения. Аналоговая вычислительная техника предназначалась в основном для моделирования в реальном масштабе времени линейных и нелинейных динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями. Аналоговые устройства предоставляли высокую скорость вычислений в реальном масштабе времени за счёт параллельных действий, обеспечивая высокое быстродействие при сравнительно низкой стоимости, простое сопряжение с экспериментальной аппаратурой, удобное взаимодействие пользователя с машиной. Аналоговые машины широко использовали в 1950–1960-е годы для математического моделирования ракетных систем и комплексов космических кораблей, самолётов, судов, энергетических установок и других объектов на всех этапах их создания. Кроме того, эти средства внедряли для решения задач в медицине, биологии. Аналоговые вычислительные машины применяли, например, для исследования нейронных сетей при реализации математической модели Ходжкина и Хаксли, описывающей возбуждение аксона.

В институте в лаборатории физиологии движений (зав. — проф. Н. А. Рокотова) эксплуатировали аналоговую вычислительную машину МН-7 (рис. 2), предназначенную для исследования динамических систем методом математического моделирования.

Установка работала в реальном масштабе времени. Результат решения задач можно было наблюдать на электронно-лучевом индикаторе. Машина выполняла основные операции: суммирование, умножение на коэффициент, интегрирование, инвертирование, перемножение и деление двух зависимых переменных, воспроизведение нелинейных функций от одной переменной. Разработанная в 1958 году советскими



Рис. 2. Аналоговая машина МН-7

(Источник: https://www.computerra.ru/wp-content/uploads/2018/08/analog_02.jpeg)

Fig. 2. MN-7 analog machine

(URL: https://www.computerra.ru/wp-content/uploads/2018/08/analog_02.jpeg)

учёными следующая модификация данной аналоговой машины МН-10 стала первой в мире полупроводниковой аналоговой машиной, демонстрировавшейся на выставке в Нью-Йорке в июне 1959 года. Эти машины производили на заводе математических машин в г. Томске. В лаборатории физиологии движений аналоговую машину МН-7 применяли для тестирования мышечных рецепторов при различных условиях удержания позы или совершения движений, а также в экспериментах по исследованию следящих движений человека (Романов 1974; 1975; Шапков, Романов 1972).

Однако аналоговая вычислительная техника, обеспечивая высокую скорость параллельных вычислений, уступала цифровой в точности и способности запоминать данные. Количество операционных усилителей аналоговых машин ограничивало сложность решаемых математических выражений.

Дальнейшие этапы применения вычислительной техники в Институте физиологии были связаны с внедрением (наряду с продолжением эксплуатации аналоговой техники) цифровых электронных вычислительных машин.

Электронные вычислительные машины

В конце 1960-х годов в научно-техническом отделе института (НТО) была установлена цифровая ЭВМ «МИР-1» (сокращение от «Машина

для инженерных расчётов») (рис. 3). Данная машина была создана в киевском Институте кибернетики Академии наук СССР в 1960-х годах под руководством академика В. М. Глушкова и предназначалась для установки в учебных заведениях и научных организациях. В машине использовалась десятичная система счисления. Действия могли выполняться с числами произвольной разрядности и произвольной длины, ограниченной только объёмом памяти в 4096 символов. Время на выполнение операции сложения составляло 50 мкс. Среднее быстродействие составляло величину около 1–2 тыс. операций в секунду. В комплект машины входила электрическая печатная машинка для ввода и вывода информации со скоростью семь знаков в секунду. Управление машиной было организовано на микропрограммном принципе. С помощью микропрограмм выполнялось большинство арифметических действий. Вычисление элементарных функций выполнялось перед трансляцией и интерпретацией входной программы. Микрокоманды машины МИР-1 записывались на сменных микропрограммных матрицах.

Это позволяло менять набор арифметических и логических операций и быстро изменять характер использования машины. ЭВМ имела аппаратно реализованный машинный язык, близкий к языкам программирования высокого уровня. Отметим, что МИР-1 была единственной



Рис. 3. ЭВМ МИР-1 (Источник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/ru/thumb/0/04/Computer_MIR-1.jpg/220px-Computer_MIR-1.jpg)

Fig. 3. MIR-1 computer (URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/ru/thumb/0/04/Computer_MIR-1.jpg/220px-Computer_MIR-1.jpg)

советской вычислительной машиной, купленной фирмой IBM в 1967 году.

Однако для удовлетворения всёвозрастающих научных потребностей Института физиологии в счётных устройствах мощности данной техники было явно недостаточно. Постановлением Президиума АН СССР (Решение № 30-37-516 от 5 июня 1969 г.) при активном содействии академика В. Н. Черниговского, чл.-корр. А. М. Уголева, профессоров К. П. Иванова, Н. Ф. Суворова, В. А. Кожевникова, Л. А. Чистович, В. Д. Глезера, В. А. Кислякова, Н. А. Рокотовой, М. И. Митюшова, Я. А. Альтмана в Институте физиологии была организована лаборатория прикладной математики с целью обслуживания вычислительными работами подразделений Института физиологии им. И. П. Павлова и других ленинградских ин-

ститутов биологического профиля АН СССР. Заведующим лабораторией был утверждён д-р техн. наук В. К. Лабутин. Затем в 1973 году на базе лаборатории были созданы Межинститутский вычислительный центр (ВЦ) и группа прикладной математики (Иванов, Клещев 1975). Вначале в лаборатории эксплуатировали большую универсальную ЭВМ (мэйнфрейм) «Днепр-21» (заводской номер 27) (рис. 4). Главным конструктором полупроводниковой управляющей машины широкого назначения «Днепр» был Б. Н. Малиновский, докторская диссертация которого и называлась «Разработка и применение управляющей машины широкого назначения УМШН Днепр». Кстати, одна из установок «Днепр» в те годы в СССР была установлена на судне «Космонавт Юрий Гагарин» для управления космическими полётами.



Рис. 4. Машинный зал ЭВМ «Днепр-21» (фото В. Н. Чихмана, 1970 г.)

Fig. 4. Machine room of a Dnepr-21 computer (photo by V. N. Chikhman, 1970)

В последующие годы институтом приобретались и эксплуатировались в ВЦ большие ЭВМ (клоны знаменитой системы IBM 360) отечественного производства — ЭВМ М-4030, М-4030-1 (рис. 5), ЕС-1036 (рис. 6).

В середине 1970-х годов в институте была приобретена и установлена на набережной Макарова мини-ЭВМ ВАНГ-2200 (США), а в Колтушах — отечественные измерительно-вычислительные комплексы ИВК-1, ИВК-2 соответственно на базе мини-ЭВМ СМ-3, СМ-4. Для решения задач, требующих значительных вычислительных ресурсов, поддерживалась работа канала связи с ЛНИВЦ АН СССР для выполнения дистанционных расчётов на суперЭВМ «Cyber» (США).

В 1970-е годы на больших машинах ВЦ были выполнены оригинальные разработки системного программного обеспечения, которые были приоритетными в стране и привлекли внимание специалистов многих организаций СССР. Так, были разработаны универсальный язык про-

граммирования, названный в честь института «ИНФ», транслятор этого языка для ЭВМ «Днепр-21» (Клещёв, Тёмов 1973), библиотеки математических процедур (Надпорожская, Егоров 1975). Позднее на идеях ИНФа была разработана программная метаалгоритмическая система общего назначения — «МАСОН», включающая язык программирования и транслятор (Меншуткин и др. 1975). Эти разработки программного обеспечения приобретались рядом научных и технических организаций (например, ЦАГИ, Институт кибернетики АН СССР, ЦКБ Полюс и др.) в рамках оказания технической помощи. С целью ознакомления с передовым опытом работы ВЦ Институт физиологии посещали представители многих научных и технических организаций, например академик Н. П. Бехтерева, руководители ВЦ ЛЭТИ — Е. Александров, Ю. Рудня и др.

В то время идея централизованной обработки данных была доминирующей. Кроме математической постановки и решения на ЭВМ



Рис. 5. ЭВМ М-4030-1 (Источник: http://www.etheroneph.com/images/machinery/es_evm/m4031.jpg)

Fig. 5. M 4030-1 computer (URL: http://www.etheroneph.com/images/machinery/es_evm/m4031.jpg)



Рис. 6. ЭВМ ЕС-1036 (источник: <https://i.pinimg.com/736x/9e/17/ea/9e17ea25b07e09b1307ae93010e18c1b.jpg>)

Fig. 6. ES1036 computer (URL: <https://i.pinimg.com/736x/9e/17/ea/9e17ea25b07e09b1307ae93010e18c1b.jpg>)

биологических задач в ВЦ была организована коммерческая продажа машинного времени сторонним организациям, что обеспечивало поступление в институт дополнительных средств. В Институт физиологии с просьбой предоставить машинное время и выполнить расчёты на ЭВМ обращались, например, такие организации, как Математический институт им. В. А. Стеклова АН СССР, Ленинградский университет, Институт озераведения АН СССР, НПО «Дальняя

связь», Челябинский медицинский институт, ВНИИ Электромаш и др. Вычислительный процесс проходил на универсальных ЭВМ, состоящих из множества блоков, десятков тысяч контактов (потенциальных источников неисправностей). ЭВМ были действительно большими («Днепр-21» весила 27 тонн, занимала площадь 130 кв. м), требовали стабильного питания, охлаждения, постоянного технического обслуживания (рис. 7, 8).



Рис. 7. Обслуживание ЭВМ (фото В. Н. Чихмана, 1970–1982 гг.)

Fig. 7. Computer maintenance (photo by V. N. Chikhman, 1970–1982)



Рис. 8. Оператор ЭВМ «Днепр-21» В. Семенова, программист С. Егоров (фото В. Н. Чихмана, 1971 г.)

Fig. 8. V. Semenova (Dnepr-21 computer operator) and S. Egorov (programmer) (photo by V. N. Chikhman, 1971)

Технические характеристики ЭВМ были по меркам сегодняшнего дня весьма скромными. Например, оперативная память машины «Днепр-21» объёмом 8 кбайт размещалась в восьми двухметровых шкафах с большим числом электронных плат. Работа на ЭВМ при поступлении большого количества заказов на вычислительные расчёты была организована в три смены, т. е. круглосуточно без выключения оборудования. Штат ВЦ состоял из 33 единиц. В те годы практически вся математическая обработка экспериментальной физиологической информации, получаемой в лабораториях института, проводилась в вычислительном центре.

Группа прикладной математики выполняла работы по математическому моделированию физиологических механизмов, статистической обработке и анализу экспериментальных данных (Бедров, Кузнецов 1983). Можно привести следующие примеры поставленных математиками и успешно решённых с помощью ЭВМ физиологических задач:

— обработка нистагмограмм и моделирование по данным экспериментальных исследований лаборатории физиологии вестибулярного аппарата, зав. — В. А. Кисляков (Гусев, Кисляков 1986; Гусев и др. 1996; Егоров и др. 1974; Левашов и др. 1974);

— построение математических моделей в нейрофизиологических исследованиях зрительного анализатора по данным лаборатории физиологии зрения, зав. — проф. В. Д. Глезер (Бедров, Панин 1983; Гусев, Подвигин 1986; Куперман, Подвигин 1988);

— моделирование процесса обучения антропоидов по данным лаборатории физиологии поведения приматов, зав. — д-р биол. наук Л. М. Фирсов (Воронова 1979; Воронова, Клещев 1975; Воронова и др. 1978);

— разработка языка для моделирования гидробиологических процессов совместно с Институтом эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова АН СССР (Меншуткин и др. 1975);

— математическое моделирование процессов кинетики обмена веществ по данным лаборатории физиологии пищеварения, зав. — д-р биол. наук П. К. Климов (Кузнецов и др. 1974; Троицкая и др. 1992);

— математическая обработка речевых сигналов в процессе исследований, проводимых совместно с лабораторией физиологии речи, зав. — д-р биол. наук Л. А. Чистович (Родионов 1980; Тёмов 1971; Чистович и др. 1981; Чихман 1979);

— обработка экспериментальных данных и моделирование в рамках исследований лаборатории терморегуляции, зав. — проф. К. П. Иванов (Бедров, Гехман 1975; Чихман и др. 1974).

Сотрудники ВЦ и группы прикладной математики занимались техническим сопровождением ЭВМ, разработкой математических методов, их программной реализацией для решения биологических задач на разных этапах становления ВЦ:

— математики, программисты, инженеры: д. т. н. В. К. Лабутин, Ж. А. Першин, к. т. н. В. Л. Тёмов, к. ф.-м. н. А. С. Клещев, к. т. н. Я. А. Бедров, д. ф.-м. н. В. М. Гусев, к. ф.-м. н. А. Долгобродов, к. т. н. В. Н. Чихман, к. т. н. В. А. Калинин, С. К. Егоров, Е. В. Надпорожская, М. Л. Воронова, В. Д. Родионов, В. Л. Кузнецов, Т. П. Суворова, Е. А. Вершинина, С. Д. Солнушкин, А. Г. Голузина, Н. И. Вольская, Г. Мельникова, Т. Ф. Макаревич, С. П. Андреева, В. Б. Коржуев, В. И. Семёнов, О. Д. Столяров, В. Фролова, З. В. Зачек, А. В. Макаревич, В. И. Гусев, В. М. Фасман, Ю. Романов, В. П. Павлинов, М. Л. Жаков, С. В. Щербань, А. Н. Баляков, О. А. Бердинских, А. И. Панин, В. Ф. Штром, М. А. Копейкин, Е. Л. Орёл, Ю. Ткач, Ю. Половко, С. А. Ермолин, А. Риехокайнен, Н. П. Винокурова, И. С. Жуков, С. Миронов, В. Спиринов, А. Жариков;

— техники: В. В. Трушин, В. Ф. Филимонов, О. Истомин, Ю. Поляков, И. Андреев, В. Курочкин, С. Лебедев, С. Танцев, В. Лебедев, Л. Н. Антонов, А. И. Захаров, А. Лангинен;

— операторы ЭВМ: Г. Бороздина, Г. Сергеева, З. Клочкова, В. Семенова, В. Михайлова, А. Паркин, Е. Ефимова, Л. Пукконен, Т. Блинова, Л. Палконен, Л. Лебедева, Н. Е. Демидчик, Л. Семёнова, Н. Давыдкина, Г. Самаркина, Н. Бахолдина, И. Михалченкова, Л. Матвеева; — машинистка Л. И. Трушина; — сестра-хозяйка Н. А. Пархута.

Функционирование ВЦ и группы прикладной математики в 1970-е и 1980-е годы способствовало развитию культуры математического анализа физиологических данных в институте, подготовило почву для последующего перехода к распределённым вычислениям.

Автоматизация физиологических экспериментов

Сотрудниками ВЦ были осуществлены разработки ряда аппаратно-программных средств для автоматизации физиологических экспериментов, например, с целью дистанционного ввода в универсальную ЭВМ и дальнейшей обработки сигналов с экспериментальных

установок, вывода сигналов из ЭВМ для стимулирования объекта и управления экспериментальным оборудованием.

Были реализованы первые эксперименты на линии с большой ЭВМ (Чихман и др. 1974; Чихман 1975a; 1975b; 1979) (рис. 9). Так, например, созданы аппаратно-программные средства автоматизации эксперимента совместно с лабораториями физиологии речи, зав. — проф. Л. А. Чистович (Венцов и др. 1990; Гранстрем, Чихман 1978; 1981; Чистович и др. 1981), физиологии зрения, зав. — проф. В. Д. Глезер (Данилов и др. 1984), сенсорно-моторных функций, зав. — проф. Н. Ф. Подвигин (Подвигин и др. 1986;

1992), терморегуляции, зав. — проф. К. П. Иванов (Иванов, Клещев 1975).

Отметим, что наряду с внедрением вычислительной техники в институте для осуществления измерений на изображениях биологических объектов в те годы активно применялись кино- и телевизионные методы (Кисляков и др. 1985; Левкович, Сотников 1976; Левкович и др. 1994; Шелепин и др. 1985).

В 1980-е годы были реализованы приоритетные разработки систем автоматизации эксперимента с использованием мини-ЭВМ СМ-4 (рис. 10), микроЭВМ «Электроника-60» и средств КАМАК, объединённых в локальную сеть



Рис. 9. Наладка АЦП на ЭВМ «Днепр-21» (фото В. Н. Чихмана, 1971 г.)

Fig. 9. Adjustment of the analog-to-digital converter (ADC) on a Dnepr-21 computer (photo by V. N. Chikhman, 1971)

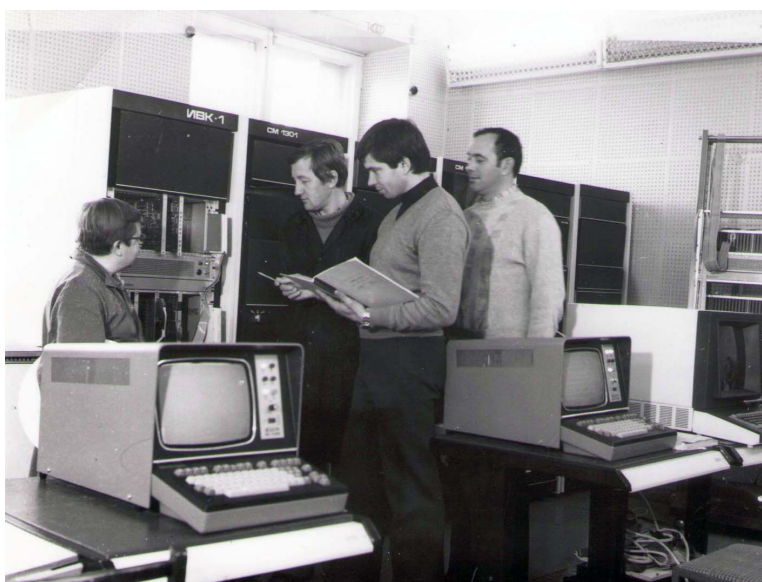


Рис. 10. Наладка мини-ЭВМ СМ-4 и оборудования КАМАК (фото В. Н. Чихмана, 1982 г.)

Fig. 10. Adjustment of an SM-4 minicomputer and the CAMAC equipment (photo by V. N. Chikhman, 1982)

(Вершинина и др. 1991; Гехман 1979; Данилов и др. 1984; Дик и др. 1993; Дудкин, Гаузельман 1979; Жаков и др. 1984; Карпов и др. 1993; Копейкин и др. 1988; Пантелеев и др. 1996).

Использование КАМАК аппаратуры в качестве интерфейса между ЭВМ и экспериментальным оборудованием обеспечивало возможность расширения и гибкость автоматизированной лабораторной системы, так как номенклатура модулей КАМАК постоянно пополнялась новыми разработками, выпускаемыми промыш-

ленностью. На рисунке 11 приведён типичный вид экспериментального лабораторного оборудования для автоматизации эксперимента в 1980–1990-х годах.

С доминированием тенденции перехода к распределённым вычислениям в институте стали активно внедрять и развивать лабораторные вычислительные системы — вначале на базе микроЭВМ ДЗ-28, БК-01, Электроника-60, ДВК-3, ДВК-4 и далее на базе IBM PC-подобных компьютеров (рис. 12, 13).

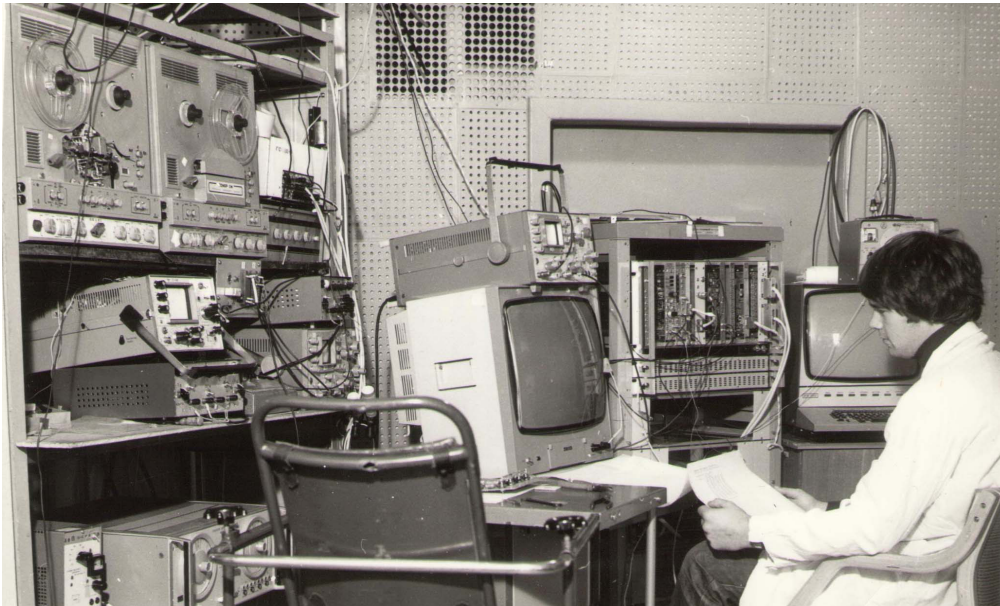


Рис. 11. Автоматизация эксперимента на базе микроЭВМ Электроника-60 и средств КАМАК (фото В. Н. Чихмана, 1984 г.)

Fig. 11. Experiment automation on an Elektronika-60 microcomputer and the CAMAC equipment (photo by V. N. Chikhman, 1984)



Рис. 12. МикроЭВМ ДЗ-28 (слева) и Электроника-60 (справа) (Источник: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fd3-28.ru%2F&psig=AOvVaw14WEyOhYmSrHYJO_rTiQ-F&ust=1750491419935000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCNC5ya2_40DFQAAAAAdAAAAABAE;https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E60M.JPG?uselang=ru)

Fig. 12. Microcomputer D3-28 (left) and Elektronika-60 (right) (URL: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fd3-28.ru%2F&psig=AOvVaw14WEyOhYmSrHYJO_rTiQ-F&ust=1750491419935000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCNC5ya2_40DFQAAAAAdAAAAABAE;https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E60M.JPG?uselang=ru)



Рис. 13. IBM PC компьютер (Источник: https://cdn.forbes.ru/files/c/375x221/forbes_import/01/01a87bne.jpg)

Fig. 13. IBM PC (URL: https://cdn.forbes.ru/files/c/375x221/forbes_import/01/01a87bne.jpg)

Информационные системы на базе персональных компьютеров

На рубеже 1980–1990-х годов появился новый класс ЭВМ, основанных на применении микропроцессоров, которые стали основой информационных технологий 1990-х годов. Появилось множество новых аппаратных средств и системных решений, таких как локальные и глобальные сети ЭВМ, системы мультимедиа и т. д. На смену тенденциям централизованного использования вычислительной техники приходят тенденции распределённых средств обработки информации. В 1995 году вычислительный центр был преобразован в сектор информационных технологий и далее, после объединения с группой прикладной математики, в лабораторию информационных технологий и математического моделирования.

Подразделение выполняло работы по автоматизации физиологического эксперимента, обработке сигналов и биологических изображений, поддержке и развитию средств электронной коммуникации, сопровождению локальных сетей и организации их связи с глобальными компьютерными сетями Интернет. В начале 1990-х годов по инициативе сотрудников нашего подразделения институт подключился к интернет-узлу Kaja-soft сети Relcom. В подразделении заработала для всех сотрудников первая в институте система электронной почты (chi@physiology.su). В то время основной физической средой передачи сообщений была обычная телефонная сеть. Выход в интернет был обеспечен институту как члену ассоциации научных и учебных организаций — пользова-

телей электронных сетей передачи данных — RELARN. Сотрудниками лаборатории эксплуатировались серверы, были проложены первые структурированные кабельные сети (СКС) в колтушских корпусах и на набережной Макарова, затем протянуты первые оптоволоконные линии для связи с провайдером, используя технические средства Ленэнерго.

Первые персональные компьютеры IBM PC (рис. 13) в институте были также освоены в нашей лаборатории. Затем была оказана помощь в освоении и эксплуатации персональных компьютеров академиком В. А. Говырину и А. М. Уголеву. Ещё один компьютер был установлен в планово-экономическом отделе (зав. Л. К. Белявская), где многие годы эксплуатировалась разработанная нами программа обработки экономической информации, учитывающая специфику института.

По заказу дирекции также была разработана и эксплуатировалась программа контроля исполнительской деятельности управленческого аппарата — АСКИД. В нашем подразделении осваивались и эксплуатировались первые в институте лазерные принтеры и сканеры, средства мультимедиа. На протяжении длительного времени наши сотрудники осуществляли сопровождение компьютеров (ремонт, восстановление системного программного обеспечения после сбоев, антивирусную обработку, оптимизацию и пр.) в научных лабораториях и административно-хозяйственных подразделениях, а также сопровождение мультимедийных средств для проведения конференций, собраний.

По мере массового внедрения в подразделениях института персональных ЭВМ типа

IBM PC в лаборатории информационных технологий были выполнены разработки аппаратно-программных средств автоматизации физиологического эксперимента с использованием этой техники (Молодцов и др. 1999). Была разработана концепция создания проблемно-ориентированных аппаратно-программных средств, реализующая преобразование и ввод в компьютер сигналов в реальном времени, их обработку, хранение в базе данных, графическое представление результатов обработки, диалог с экспериментатором. Были реализованы различные аппаратные модули ввода в компьютер информации: встроенные на шину AT BUS платы аналого-цифрового преобразования (АЦП), а также дискретного ввода-вывода информации. Для ввода в память IBM PC электрофизиологических сигналов были разработаны и реализованы АЦП различной разрядности и быстродействия (MD42, MD142, MD70, MD88, MD93, MD32), усилители сигналов (MD90, MD95, MD42U), блок ввода межимпульсных интервалов (MD79) и др. (Чихман и др. 2022). Созданы программные модули оптимального хранения данных со средствами упаковки информации, уменьшающими объём используемой памяти и увеличивающими скорость доступа к ней. Разработанные средства автоматизации эксперимента использовали систему управления базами данных (СУБД), что обеспечивало экономию дискового пространства и оперативной памяти, уменьшало время доступа к информации, увеличивало быстродействие и реактивность системы. На базе разработанных модулей был выполнен ряд работ по автоматизации физиологических экспериментов.

Было реализовано аппаратно-программное обеспечение для проведения исследований биоэлектрической активности переживающих срезов мозга.

Созданы аппаратно-программные средства для автоматизированного эксперимента по анализу динамики содержания мембранно-связанного кальция в нервных клетках мозга.

Разработаны программные модули, реализующие вычислительный алгоритм для оценки параметров экспоненциального представления токов проводимости ионных каналов электровозбудимых мембран, исследуемых методом патч-клампа, позволившие оценить константы инактивации.

Для лаборатории физиологии высшей нервной деятельности была реализована регистрация в автоматизированном эксперименте импульсной активности нейронов в реальном времени. Параллельно выполнялась регистрация медлен-

ных процессов (движение лапы животного при выработке инструментального оборонительного рефлекса) и управление стимуляторами (звуковой и токовый раздражители).

Комплекс программ был реализован с помощью Delphi в среде Windows.

В 1990-е годы в лаборатории проводилась работа по развитию центра обработки изображений биологических объектов (организованного в соответствии с приказом директора института № 6 от 17.04.1997 г. и частично поддержанного грантом РФФИ 96-04-55000). Были комплексированы аппаратно-программные средства для ввода в компьютер физиологических изображений (в частности, морфологических структур) на базе телевизионной камеры РИИ 780, сопряжённой с качественным микроскопом, аппаратуры захвата кадра (FrameGrabber), видеоконтрольного устройства (ВКУ) и соответствующего программного обеспечения, функционирующего в средах MS DOS и Windows. На базе этих средств был проведён морфометрический анализ скоплений инициальных нейронов зрительных полей коры мозга кошки, меченных пероксидазой хрена, ввод изображений препаратов и рисунков для измерения площади рецепторных полей отдельных «кустиков» нервных сплетений, длины волокон и др. (Солнушкин, Чихман 2015b; 2018). В центре обработки изображений были разработаны алгоритмы измерения, классификации и математического анализа пространственно-яркостных, геометрических характеристик хроматиновых и гетерохроматиновых областей с разной оптической плотностью в нейронных ядрах структур развивающегося головного мозга эмбрионов крыс.

В порядке оказания технической и методической помощи по компьютерной обработке изображений выполнялась работа для кафедры нормальной анатомии Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И. П. Павлова (зав. — проф. А. К. Косоуров), кафедры анатомии Университета физической культуры им. П. Ф. Лесгафта.

При участии сотрудников лаборатории были запущены в действие автоматизированные установки для исследования зрительного восприятия: электрофизиологическая установка по исследованию функционального состояния сетчатки животного с регистрацией ретинограммы; психофизическая установка для проведения зрительных экспериментов по исследованию пространственного зрения человека. Осуществлялась работа по исследованию механизмов зрительного восприятия совместно

с лабораторией физиологии зрения в плане выполнения гранта РФФИ 96-04-48613 «Исследование влияния внешней помехи на контрастную чувствительность» (Шелепин и др. 1998). В лаборатории информационных технологий был выполнен грант РФФИ «Создание аппаратно-программных средств для исследования механизмов зрительного восприятия натуральных сцен», а затем грант РФФИ «Исследование когнитивных процессов восприятия фрагментированных изображений», а также грант РГНФ «Исследование психофизиологических механизмов зрительного восприятия неполных изображений». В процессе выполнения грантов и дальнейшей работы были разработаны программы синтеза контурных изображений с изменяемыми параметрами; программа синтеза верньерных изображений с узкополосной помехой; вычислены оптико-геометрические характеристики тестовых контурных изображений, количественные характеристики двумерных спектров контурных изображений с разной степенью фрагментации, вычислены «центры тяжести» двумерных спектров, так называемые центроиды, и выявлена взаимосвязь последних с пороговыми характеристиками восприятия контурных изображений; проведено моделирование оценки сложности изображений, исходя из различных представлений о реализации этой характеристики зрительной системой; разработана программа для моделей локального частотного анализа

при восприятии верньерных изображений на основе данных, полученных в экспериментах по исследованию механизмов пространственного зрения и др. (Bondarko et al. 2024; Chikhman et al. 2006; 2012).

Внедрение современных разработок

В 2000-е годы появились микросхемы с программируемой логикой, специализированные средства разработки схемотехнических решений на их основе. На базе этих средств в лаборатории был разработан ряд новых аппаратных модулей (рис. 14). Были созданы модули, подключаемые к компьютеру через USB-интерфейс или по радиоканалу. Устройства программируемой логики (PLD — Programmable Logic Device) позволяли применять микросхемы высокого уровня интеграции для проектов малой тиражности, что, наряду с SMD компонентами (Surface Mounted Device), минимизирует число элементов, увеличивает надёжность оборудования.

Например, были созданы аппаратно-программные средства для исследования сократительной функции сосудов. В качестве ключевого компонента был реализован многоканальный сигма-дельта АЦП с USB-интерфейсом (MD 155), обеспечивающий преобразование в цифровую форму и ввод в компьютер биопотенциала и силы сокращения гладкой мышцы, температуры (Молодцов и др. 2011). Созданная информационная



Рис. 14. Аппаратные модули для автоматизации экспериментов (фото В. Н. Чихмана, 2012–2018 гг.)

Fig. 14. Hardware modules for experiment automation (photo by V. N. Chikhman, 2012–2018)

система обеспечивала регистрацию сигналов, отображение процессов на экране, сохранение оцифрованных процессов в базе данных. СУБД позволяла вести отсроченную работу с накопленными данными. Для реализации вышеуказанных процедур, кроме средств Delphi, были использованы функции пакета Matlab.

Был разработан аппаратный модуль MD236, предназначенный для контроля в электрофизиологическом эксперименте изменения частоты импульсной активности нейронов при воздействии на биологический объект (Солнушкин, Чихман 2015а). На базе устройства MD236 проводятся эксперименты по исследованию фармакологии синаптической передачи в рецепторах вестибулярного аппарата лягушки (лаборатория interoцепции, зав. — проф. А. Г. Марков).

Устройство MD245 (внедрено в лаборатории физиологии дыхания, зав. — д-р биол. наук Н. П. Александрова) предназначено для использования в комплексе оценки функционального состояния дыхательных мышц человека. Система осуществляет регистрацию инспираторного сигнала на управляемых этапах исследования дыхания (спокойное дыхание, дыхание с перекрытием, манёвр Мюллера), которые реализуются путём управления со стороны программы клапанным механизмом (Солнушкин, Чихман 2017).

Для определения порога болевой чувствительности лабораторных животных, его автоматизированной регистрации в экспериментах лаборатории генетики высшей нервной деятельности (зав. — д-р биол. наук Н. А. Дюжикова) разработано устройство MD286 (Чихман и др. 2019). Осуществляется измерение болевого порога путём программного управления параметрами стрессора, регистрации ноцицептивной реакции животного. Для обеспечения одинаковой силы физического воздействия для синтеза стрессора был разработан модуль на основе генератора тока MD 287 (Чихман и др. 2020).

Для проведения совместно с лабораторией физиологии зрения (зав. — проф. Ю. Е. Шелепин) психофизических экспериментов было реализовано эргономичное кнопочное устройство для ввода ответов испытуемых MD74 (Молодцов и др. 2021а).

Для контроля параметров жизнедеятельности экспериментального животного в ходе эксперимента по изучению механизмов висцеральной боли (внедрено в лаборатории кортико-висцеральной физиологии, зав. — д-р биол. наук О. А. Любашина) создано устройство MD300, обеспечивающее параллельно с регистрацией

импульсной активности нейронов измерение артериального давления и параметров дыхания, управление стимуляцией, отображение результатов измерения на дисплее (Молодцов и др. 2022).

Разработка проблемно-ориентированных компьютерных средств автоматизации физиологических экспериментов на базе современных аппаратных и программных решений затребована и успешно продолжается в лаборатории по сегодняшний день (Бондарко и др. 2016; 2024; Молодцов и др. 2011; 2021а; 2021б; 2022; 2023; Солнушкин, Чихман 2015а; 2015б; 2017; 2018; Столярова и др. 2020; 2022; Чихман и др. 2019; 2020; 2024; Bondarko et al. 2024). Получены патенты, разработанные программы зарегистрированы во Всероссийском фонде алгоритмов и программ.

Одной из последних разработок нашего коллектива являются устройства MD308, MD308а для изучения ASR (acoustic startle reflex) (Чихман и др. 2024). Реализованные аппаратно-программные модули на основе пьезодатчиков и акселерометра обеспечивают измерение и регистрацию параметров рефлекса вздрагивания с высокой чувствительностью, их отображение в режиме реального времени на дисплее в ходе эксперимента (рис. 15). Используются в лаборатории регуляции функций нейронов мозга, зав. — проф. РАН Е. А. Рыбникова.

Математический анализ данных

Наряду с разработкой проблемно-ориентированных аппаратно-программных средств автоматизации эксперимента традиционно выполнялись работы по математическому анализу экспериментальных данных для лабораторий института и других организаций в рамках сотрудничества (Вершинина, Сафарова 2019).

Например, для лаборатории физиологии движений по теме «Анализ мозговой и мышечной активности при управлении кортико-спинальным нейроинтерфейсом» статистическими методами проанализированы интегральные характеристики ЭМГ-активности мышц нижних конечностей при реальных и воображаемых движениях. Для оценки влияния на ЭМГ-активность мышц условий эксперимента и инструкций испытуемому данные обрабатывали с использованием моделей многомерного смешанного дисперсионного анализа Mixed ANOVA. Оценку отклонений распределения от нормального проводили с использованием критерия Колмогорова — Смирнова. Для совместного исследования

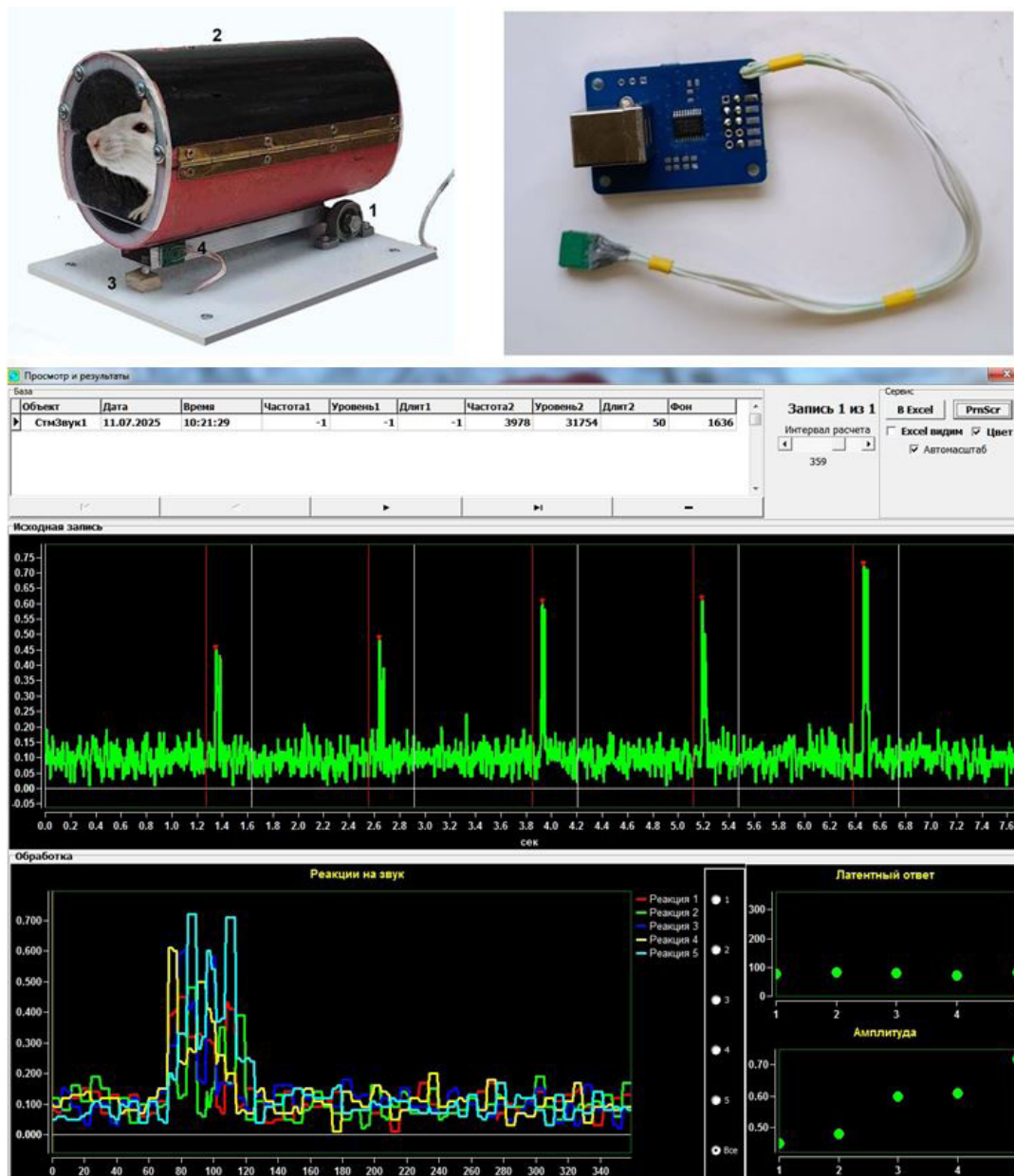


Рис. 15. Аппаратно-программное обеспечение для регистрации рефлекса вздрагивания (acoustic startle reflex) (фото В. Н. Чихмана, 2025 г.)

Fig. 15. Hardware and software for acoustic startle reflex (ASR) registration (photo by V. N. Chikhman, 2025)

лаборатории физиологии движения и Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова были подобраны методы математического анализа данных по применению «биологической обратной связи у пациентов с инсультом». В этой работе частоты и распределения переменных анализировали с использованием критерия χ^2 или точного критерия Фишера. Корреляции рассчитывали с использованием коэффициентов Пирсона и Спирмена.

Для лаборатории онтогенеза нервной системы выполнен анализ данных по изучению влияния стресса, связанного с неонаталь-

ной болью, на когнитивные функции у крыс. Влияние различных факторов на кратковременную и долговременную память проверяли с использованием смешанного дисперсионного анализа ANOVA и с использованием теста Бонферрони.

Заключение

В настоящее время в лабораториях института успешно эксплуатируются сотни современных компьютеров, в отдельных лабораториях установлены мощные серверные системы, например, обеспечивающие реализацию задач

обработки динамических изображений, моделирования нейронных сетей, искусственного интеллекта.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Вклад авторов

- а. Чихман Валерий Николаевич — разработка аппаратных средств, написание статьи;
- б. Солнушкин Сергей Дмитриевич — разработка программного обеспечения, подготовка иллюстрационного материала.

Author Contributions

- a. Valery N. Chikhman — hardware development, manuscript writing;
- b. Sergey D. Solnushkin — software development, visualization.

Литература

- Апокин, И. А., Майстров, Л. Е. (1990) *История вычислительной техники*. М.: Наука, 260 с.
- Бедров, Я., Гехман, Б. (1975) Оценка с помощью математической модели кожного кровотока и теплоотдачи при терморегуляторной реакции. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 61, № 11, с. 1723–1729.
- Бедров, Я., Кузнецов, В. (1983) О некоторых особенностях использования математических средств в биологии. В кн.: Н. П. Бехтерев (ред.). *Методологические проблемы обработки медико-биологической информации*. Л.: Изд-во Института экспериментальной медицины, с. 111–119.
- Бедров, Я., Панин, А. (1983) Восстановление весовых функций простых полей зрительной коры с учетом нелинейности. *Биофизика*, т. 28, № 1, с. 114–118.
- Бондарко, В. М., Данилова, М. В., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2016) Программное обеспечение психофизиологических исследований зрительного восприятия. *Биомедицинская радиоэлектроника*, № 4, с. 21–24.
- Бондарко, В. М., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2024) Оценка кривизны изображений в присутствии дистракторов. *Оптический журнал*, т. 91, № 10, с. 94–105. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-10-94-105>
- Бороздин, А. Н., Головешкин, В. Т., Кожевников, А. А., Шупляков, В. С. (1980) Особенности изображений речевых сигналов моделью спектрального слухового анализа. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 66, № 1, с. 125–131.
- Венцов, А. В., Надпорожская, Е. В., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (1990) Исследование восприятия речи: организация интерактивного режима обработки речевых сигналов. *Сенсорные системы*, т. 4, № 3, с. 327–330.
- Вершинина, Е. А., Данилов, Ю. П., Орёл, Е. Л. и др. (1991) Использование ритмографического метода для контроля состояния животного. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 77, № 7, с. 99–103.
- Вершинина, Е. А., Сафарова, Г. А. (2019) О применении методов математической статистики в клинических и экспериментальных исследованиях. *Успехи геронтологии*, т. 32, № 6, с. 1052–1062.
- Воронова, М. Л. (1979) Математическое моделирование сложных форм поведения у антропоидов. В кн.: *Механизмы условнорефлекторного и отсроченного поведения у обезьян*. Л.: Наука, с. 103–121.
- Воронова, М. Л., Клещёв, А. С. (1975) Моделирование процесса формирования понятий в одном классе экспериментов. В кн.: *Прикладная математика и вычислительная техника в биологии*. Л.: Наука, с. 15–26.
- Воронова, М. Л., Клещёв, А. С., Фирсов, Л. А. (1978) Процессы научения сложному поведению. *Доклады Академии наук СССР*, т. 240, № 5, с. 1248–1251.
- Гехман, Б. И. (1979) Устройство для предварительной обработки импульсной активности одиночного нейрона в ходе электрофизиологического эксперимента. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 65, № 6, с. 934–937.
- Гранстрем, М. П., Чихман, В. Н. (1978) Современные вычислительные средства автоматизации речевых исследований. В кн.: *Автоматизация экспериментальных физиологических исследований*. Л.: [б. и.], с. 26–36.
- Гранстрем, М. П., Чихман, В. Н. (1981) Цифровая модель речеобразования в речевом тракте с потерями. В кн.: *Исследование моделей речеобразования и речевосприятия*. Л.: Науч. совет по комплекс. пробл. физиологии человека и животных, с. 80–86.

- Гусев, В. М., Кисляков, В. А. (1986) Взаимодействие отолитового органа полукружных каналов вестибулярного аппарата в системе угловой стабилизации человека в пространстве. *Биофизика*, т. 31, № 1, с. 123–127.
- Гусев, В. М., Орлов, И. В., Долгобродов, С. Г. (1996) Диффузия эндолимфы как возможный механизм вестибулярной рецепции. *Сенсорные системы*, т. 10, № 1, с. 80–90.
- Гусев, В. М., Подвигин, Н. Ф. (1986) Модель системы управления произвольными движениями глаз. *Биофизика*, т. 31, № 2, с. 309–312.
- Гутер, Р. С., Полунов, Ю. А. (1981) *От абака до компьютера*. М.: Знание, 208 с.
- Данилов, Ю. П., Жаков, М. Л., Солнушкин, С. Д. и др. (1984) Автоматизация электрофизиологического эксперимента. *Управляющие системы и машины*, № 4, с. 83–87.
- Дик, И. Г., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н., Штром, В. Ф. (1993) Организация аппаратно-программных средств для автоматизации исследований по физиологии кровообращения. *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*, т. 79, № 2, с. 115–120.
- Дудкин, К. Н., Гаузельман, В. Е. (1979) *Автоматизация нейрофизиологического эксперимента*. Л.: Наука, 159 с.
- Егоров, С. К., Клещев, А. С., Родионов, В. Д. (1974) Количественная обработка нистагмограмм на ЭВМ (пакет программ на языке ИНФ). Вестибулярная функция. В кн.: *Сенсорные системы*. Л.: Наука, с. 73–112.
- Жаков, М. Л., Першин, Ж. А., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (1984) Организация многомашинного комплекса для автоматизации лабораторных исследований. *Управляющие системы и машины*, № 1, с. 23–26.
- Иванов, К. П., Клещев, А. С. (1975) *Биологический вычислительный центр: о принципах организации и науч. задачах*. Л.: Наука, 140 с.
- Казакова, И. А. (2011) *История вычислительной техники*. Пенза: Изд-во Пензенского государственного университета, 232 с.
- Карпов, Б. А., Штром, В. Ф., Чихман, В. Н. (1993) Машинный анализ результатов регистрации движений глаз в процессе чтения. *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*, т. 79, № 10, с. 92–98.
- Кисляков, Ю. Я., Левкович, Ю. И., Мальцев, Н. А., Володина, И. А. (1985) Телевизионный метод измерения форменных элементов крови. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 71, № 6, с. 669–673.
- Клещев, А. С., Тёмов, В. Л. (1973) *Язык программирования ИНФ и его реализация*. Л.: Наука, 167 с.
- Кожевников, В. А., Мещерский, Р. М. (1963) *Современные методы анализа электроэнцефалограммы*. М.: Медгиз, 327 с.
- Копейкин, М. А., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (1988) Модуль «селектор-формирователь» для обработки на ЭВМ импульсной активности нейронов. В кн.: *Средства автоматизации физиологических исследований*. Л.: Наука, с. 46–50.
- Кузнецов, В. Л., Гарина, И. А., Емельянов, Н. А. (1974) К анализу кинетики выведения натрия-22 из срезов коры головного мозга крыс. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 60, № 4, с. 507–512.
- Куперман, А. М., Подвигин, Н. Ф. (1988) Автоматическое измерение параметров движений стимула при исследовании пространственно-временных свойств рецептивных полей нейронов. В кн.: В. А. Говырин (ред.). *Средства автоматизации физиологических исследований*. Л.: Наука, с. 113–117.
- Левашов, М. М., Родионов, В. Д., Старостенко, А. М. (1974) Статистические связи между характеристиками вестибулярного нистагма. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 60, № 4, с. 513–523.
- Левкович, Ю. И., Мальцев, Н. А., Рычкова, С. В., Лебедев, В. П. (1994) Определение площади экспериментальных язвенных поражений желудка с помощью интерактивного телевизионного метода. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*, № 1, с. 54–55.
- Левкович, Ю. И., Сотников, О. С. (1976) Киноисследование временных и геометрических параметров. *Архив анатомии, гистологии и эмбриологии*, т. 71, № 9, с. 5–11.
- Меншуткин, В. В., Суворова, Т. П., Тёмов, В. Л. (1975) Реализация языка моделирования гидробиологических процессов в системе МАСОН. В кн.: *Прикладная математика и вычислительная техника в биологии*. Л.: Наука, с. 63–80.
- Молодцов, В. О., Смирнов, В. Ю., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2021a) Устройство ввода ответов для психофизических экспериментов. *Приборы и техника эксперимента*, № 2, с. 153–154. <https://doi.org/10.31857/S0032816221020178>
- Молодцов, В. О., Смирнов, В. Ю., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2021b) Аппаратно-программное обеспечение поведенческого эксперимента. *Биомедицинская радиоэлектроника*, т. 24, № 1, с. 42–47. <https://doi.org/10.18127/j15604136-202101-06>
- Молодцов, В. О., Смирнов, В. Ю., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2022) Устройство для регистрации физиологических параметров лабораторных животных. *Приборы и техника эксперимента*, № 1, с. 159–161. <https://doi.org/10.31857/S0032816222010189>
- Молодцов, В. О., Смирнов, В. Ю., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2023) Регистрация рефлекса испуга. *Приборы и техника эксперимента*, № 3, с. 154–156. <https://doi.org/10.31857/S0032816223030242>
- Молодцов, В. О., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2011) Устройство для измерения сигналов в электрофизиологическом эксперименте. *Приборы и техника эксперимента*, № 5, с. 163–165.

- Молодцов, В. О., Чихман, В. Н., Солнушкин, С. Д. (1999) Аппаратно-программное обеспечение АРМ физиолога. *Приборы и системы управления*, № 3, с. 15–19.
- Надпорожская, Е. В., Егоров, С. К. (1975) *Библиотека процедур на языке ИНФ*. Л.: Наука, 192 с.
- Пантелеев, С. С., Чихман, В. Н., Молодцов, В. О. (1996) Автоматизированная электрофизиологическая установка для исследования моторной функции желудочно-кишечного тракта анестезированной крысы. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 82, № 4, с. 135–140.
- Подвигин, Н. Ф., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (1986) Автоматизация научных исследований в Институте физиологии им. И. П. Павлова АН СССР. *Автоматрия*, № 6, с. 101–103.
- Подвигин, Н. Ф., Чиж, А. Н., Левкович, Ю. И. и др. (1992) Компьютерный анализ пространственного рельефа активности на выходах нейронов НКТ кошки. *Сенсорные системы*, т. 6, № 1, с. 83–94.
- Полунов, Ю. Л. (2004) *От абака до компьютера: судьбы людей и машин. Книга для чтения по истории вычислительной техники*. М.: Русская редакция, 546 с.
- Родионов, В. Д. (1980) Минимально фазовая модель динамического спектрального анализа звуков на периферии слуха. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 66, № 1, с. 119–124.
- Романов, С. П. (1974) Моделирование механизмов спинального уровня управления мышечным сокращением. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 60, № 10, с. 1508–1517.
- Романов, С. П. (1975) Моделирование структурно-функциональной организации мышцы и ее рецепторного аппарата. В кн.: В. Д. Глезер (ред.). *Механизмы переработки информации в сенсорных системах*. Л.: Наука, с. 160–184.
- Смолов, В. Б. (1972) *Аналоговые вычислительные машины*. М.: Высшая школа, 408 с.
- Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2015a) Программные средства для контроля нейрональной активности. *Биомедицинская радиоэлектроника*, № 4, с. 78–80.
- Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2015b) Программное обеспечение для выполнения измерений на электронно-микроскопических изображениях. *Оптический журнал*, т. 82, № 10, с. 16–20.
- Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2017) Организация вычислительных процессов для физиологических исследований дыхания. *Биомедицинская радиоэлектроника*, № 3, с. 48–54.
- Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2018) Компьютерная обработка биологических изображений. *Биомедицинская радиоэлектроника*, № 2, с. 36–40.
- Столярова, Э. И., Белова, Н. Ю., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2022) Программный комплекс для коррекционной работы при обучении детей со слухоречевыми нарушениями. *Психолого-педагогические исследования*, т. 14, № 1, с. 77–94. <https://doi.org/10.17759/psyedu.2022140106>
- Столярова, Э. И., Солнушкин, С. Д., Чихман, В. Н. (2020) Вспомогательный программный комплекс для использования в логопедической практике. *Вестник психофизиологии*, № 3, с. 207–210.
- Тёмов, В. Л. (1971) Модель для описания результатов психофизических экспериментов со стационарными сигналами. В кн.: *Анализ речевых сигналов человеком*. Л.: Наука, с. 36–49.
- Троицкая, В. С., Кузнецов, В. И., Панин, А. И. (1992) Адаптационно-компенсаторные реакции пищеварительной системы при развитии атрофии поджелудочной железы. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 78, № 8, с. 158–163.
- Чистович, Л. А., Чихман, В. Н., Огородникова, Е. А. (1981) Новый подход к определению фонетической близости стимулов и его проверка в автоматизированном эксперименте. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 67, № 5, с. 704–711.
- Чихман, В. Н. (1975a) Ввод в ЭВМ «Днепр-21» импульсной активности нейронов с цифровой адаптацией. *Управляющие системы и машины*, № 1, с. 135–137.
- Чихман, В. Н. (1975b) Устройство ввода-вывода аналоговых сигналов. В кн.: *Прикладная математика и вычислительная техника в биологии. Выпуск 1*. Л.: [б. и.], с. 111–121.
- Чихман, В. Н. (1979) Система ввода-вывода речевых сигналов на ЭВМ М4030 для экспериментальных исследований восприятия речи. *Управляющие системы и машины*, № 2, с. 91–94.
- Чихман, В. Н. (2025) Эволюционные и революционные этапы создания вычислительных устройств. *Интегративная физиология*, т. 6, № 1, с. 41–65. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-1-41-65>
- Чихман, В. Н., Макаревич, А. В., Першин, Ж. А., Гехман, Б. И. (1974) Работа ЭВМ Днепр-21 в реальном масштабе времени. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 60, № 4, с. 644–647.
- Чихман, В. Н., Молодцов, В. О., Смирнов, В. Ю. и др. (2019) Устройство для электростимуляции лабораторных животных. *Приборы и техника эксперимента*, № 5, с. 160–161. <https://doi.org/10.1134/S0032816219040049>
- Чихман, В. Н., Солнушкин, С. Д., Молодцов, В. О. (2022) Опыт автоматизации физиологических экспериментов. *Интегративная физиология*, т. 3, № 3, с. 322–339. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2022-3-3-318-335>
- Чихман, В. Н., Солнушкин, С. Д., Молодцов, В. О., Смирнов, В. Ю. (2020) Устройство для электрораздражения лабораторных животных на основе использования генератора тока. *Приборы и техника эксперимента*, № 2, с. 161–162. <https://doi.org/10.31857/S0032816220010206>
- Чихман, В. Н., Солнушкин, С. Д., Смирнов, В. Ю., Молодцов, В. О. (2024) Измерение параметров рефлекторного вздрагивания. *Биомедицинская радиоэлектроника*, т. 27, № 1, с. 64–70. <https://doi.org/10.18127/j15604136-202401-08>

- Шапков, Ю. Т., Романов, С. П. (1972) Установка для исследования следящих движений человека. В кн.: А. И. Берга (ред.). *Некоторые проблемы биологической кибернетики*. Л.: Наука, с. 153–158.
- Шелепин, Ю. Е., Колесникова, Л. И., Левкович, Ю. И. (1985) *Визоконтрастометрия: Измерение пространственных передаточных функций зрительной системы*. Л.: Наука, 103 с.
- Шелепин, Ю. Е., Макулов, В. Б., Красильников, Н. Н. и др. (1998) Иконика и методы оценки функциональных возможностей зрительной системы. *Сенсорные системы*, т. 12, № 3, с. 319–328.
- Bondarko, V. M., Chikhman, V. N., Danilova, M. V., Solnushkin, S. D. (2024) Foveal crowding for large and small Landolt Cs: Similarity and attention. *Vision Research*, vol. 215, article 108346. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2023.108346>
- Chikhman, V., Bondarko, V., Danilova, M. et al. (2012) Complexity of images: Experimental and computational estimates compared. *Perception*, vol. 41, no. 6, pp. 631–647. <https://doi.org/10.1068/p6987>
- Chikhman, V., Shelepin, Yu., Foremen, N. et al. (2006) Incomplete figure perception and invisible masking. *Perception*, vol. 35, no. 11, pp. 1441–1457. <https://doi.org/10.1068/p5366>

References

- Apokin, I. A., Maistrov, L. E. (1990) *Istoriya vychislitel'noj tekhniki [History of computing technology]*. Moscow: Nauka Publ., 260 p. (In Russian)
- Bedrov, Y. A., Gekhman, B. (1975) Otsenka s pomoshch'yu matematicheskoy modeli kozhnogo krovotoka i teplootdachi pri termoregulyatornoj reakcii [Evaluation of skin blood flow and heat transfer during thermoregulatory response using a mathematical model]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 61, no. 11, pp. 1723–1729. (In Russian)
- Bedrov, Y. A., Kuznetsov, V. (1983) O nekotoryh osobennostyah ispol'zovaniya matematicheskikh sredstv v biologii [On some features of the use of mathematical tools in biology]. In: N. P. Bekhterev (ed.). *Metodologicheskie problemy obrabotki mediko-biologicheskoy informatsii [Methodological problems of processing medical and biological information]*. Leningrad: Institute of Experimental Medicine Publ., pp. 111–119. (In Russian)
- Bedrov, Y. A., Panin, A. I. (1983) Vosstanovlenie vesovykh funktsij prostykh polej zritel'noj kory s uchedom nelinejnosti [Reconstruction of weight functions of simple fields of the visual cortex taking into account nonlinearity]. *Biofizika — Biophysics*, vol. 28, no. 1, pp. 114–118. (In Russian)
- Bondarko, V. M., Chikhman, V. N., Danilova, M. V., Solnushkin, S. D. (2024) Foveal crowding for large and small Landolt Cs: Similarity and attention. *Vision Research*, vol. 215, article 108346. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2023.108346> (In English)
- Bondarko, V. M., Danilova, M. V., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2016) Programmnoe obespechenie psihofiziologicheskikh issledovaniy zritel'nogo vospriyatiya [Software for psychophysiological studies of visual perception]. *Biomeditsinskaya radioelektronika — Biomedicine radioengineering*, no. 4, pp. 21–24. (In Russian)
- Bondarko, V. M., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2024) Ocenka krivizny izobrazhenij v prisutstvii distraktorov [Image curvature assessment in the presence of distractors]. *Opticheskii zhurnal*, vol. 91, no. 10, pp. 94–105. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-10-94-105> (In Russian)
- Borozdin, A. N., Goloveshkin, V. T., Kozhevnikov, A. A., Shuplyakov, V. S. (1980). Osobennosti izobrazhenij rechevykh signalov model'yu spectral'nogo sluhovogo analiza [Features of speech signal images by the spectral auditory analysis model]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 66, no. 1, pp. 125–131. (In Russian)
- Chikhman, V. N. (1975a) Vvod v EVM “Dnepr-21” impul'snoj aktivnosti neyronov s tsifrovoy adaptatsiej [Input of pulse activity of neurons with digital adaptation into “Dnepr-21” computer]. *Upravlyayushchie sistemy i mashiny*, no. 1, pp. 135–137. (In Russian)
- Chikhman, V. N. (1975b) Ustrojstvo vvoda-vyvoda analogovykh signalov [Analog signal input/output device]. In: *Prikladnaya matematika i vychislitel'naya tekhnika v biologii. Vypusk 1 [Applied mathematics and computing in biology. Vol. 1]*. Leningrad: [s. n.], pp. 111–121. (In Russian)
- Chikhman, V. N. (1979) Sistema vvoda-vyvoda rechevykh signalov na EVM M4030 dlya eksperimental'nykh issledovaniy vospriyatiya rechi [Speech signal input-output system on the M4030 computer for experimental studies of speech perception]. *Upravlyayushchie sistemy i mashiny*, no. 2, pp. 91–94. (In Russian)
- Chikhman, V. N. (2025) Evolyucionnye i revolyucionnye etapy sozdaniya vychislitel'nykh ustrojstv [Evolutionary and revolutionary development of computing devices]. *Integrativnaya fiziologiya — Integrative physiology*, vol. 6, no. 1, pp. 41–65. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-1-41-65> (In Russian)
- Chikhman, V., Bondarko, V., Danilova, M. et al. (2012) Complexity of images: Experimental and computational estimates compared. *Perception*, vol. 41, no. 6, pp. 631–647. <https://doi.org/10.1068/p6987> (In English)
- Chikhman, V. N., Makarevich, A. V., Pershin, Zh. A., Gekhman, B. I. (1974) Rabota EVM Dnepr-21 v real'nom masshtabe vremeni [Operation of the Dnepr-21 computer in real time]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 60, no. 4, pp. 644–647. (In Russian)
- Chikhman, V. N., Molodtsov, V. O., Smirnov, V. Yu. et al. (2019) Ustrojstvo dlya elektrostimulyatsii laboratornykh zhivotnykh [Device for electrical stimulation of laboratory animals]. *Pribory i tekhnika eksperimenta*, no. 5, pp. 160–161. <https://doi.org/10.1134/S0032816219040049> (In Russian)

- Chikhman, V., Shelepin, Yu., Foremen, N. et al. (2006) Incomplete figure perception and invisible masking. *Perception*, vol. 35, no. 11, pp. 1441–1457. <https://doi.org/10.1068/p5366> (In English)
- Chikhman, V. N., Solnushkin, S. D., Molodtsov, V. O. (2022) Opyt avtomatizatsii fiziologicheskikh eksperimentov [Experiences in automating physiological experiments]. *Integrativnaya fiziologiya — Integrative physiology*, vol. 3, no. 3, pp. 322–339. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2022-3-3-318-335> (In Russian)
- Chikhman, V. N., Solnushkin, S. D., Molodtsov, V. O., Smirnov, V. Yu. (2020) Ustrojstvo dlya elektrorazdrasheniya laboratornykh zhivotnykh na osnove ispol'zovaniya generatora toka [Device for electrical stimulation of laboratory animals based on the use of a current generator]. *Pribory i tekhnika eksperimenta*, no. 2, pp. 161–162. <https://doi.org/10.31857/S0032816220010206> (In Russian)
- Chikhman, V. N., Solnushkin, S. D., Smirnov, V. Yu., Molodtsov, V. O. (2024) Izmerenie parametrov reflektornogo vzdragivaniya [Measurement of startle reflex]. *Biomeditsinskaya radioelektronika — Journal Biomedical Radioelectronics*, vol. 27, no. 1, pp. 64–70. <https://www.doi.org/10.18127/j15604136-202401-08> (In Russian)
- Chistovich, L. A., Chikhman, V. N., Ogorodnikova, E. A. (1981) Novyj podkhod k opredeleniyu foneticheskoy blizosti stimulov i ego proverka v avtomatizirovannom eksperimente [A new approach to determining the phonetic proximity of stimuli and its verification in an automated experiment]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 67, no. 5, pp. 704–711. (In Russian)
- Danilov, Yu. P., Zhakov, M. L., Solnushkin, S. D. et al. (1984) Avtomatizatsiya elektrofiziologicheskogo eksperimenta [Automation of electrophysiological experiment]. *Upravlyayushchie sistemy i mashiny*, no. 4, pp. 83–87. (In Russian)
- Dik, I. G., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N., Shtrom, V. F. (1993) Organizatsiya apparatno-programmnykh sredstv dlya avtomatizatsii issledovaniy po fiziologii krovoobrashcheniya [Organization of hardware and software for automation of research in the physiology of blood circulation]. *Rossiiskij Fiziologicheskij zhurnal im. I. M. Sechenova*, vol. 79, no 2, pp. 115–120. (In Russian)
- Dudkin, K. N., Gauzel'man, V. E. (1979) Avtomatizatsiya nefrofiziologicheskogo eksperimenta [Automation of neurophysiological experiment]. Leningrad: Nauka Publ., 159 p. (In Russian)
- Egorov, S. K., Kleshchyov, A. S., Rodionov, V. D. (1974) Kolichestvennaya obrabotka nistagmogramm na EVM (paket program na yazyke INF). Vestibulyarnaya funktsiya [Quantitative processing of nystagmograms on a computer (a software package in the INF language). Vestibular function]. In: *Sensornye sistemy [Sensory systems]*. Leningrad: Nauka Publ., pp. 73–112. (In Russian)
- Gekhman, B. I. (1979) Ustrojstvo dlya predvaritel'noj obrabotki impul'snoj aktivnosti odinochnogo nejrona v khode elektrofiziologicheskogo eksperimenta [A device for pre-processing the impulse activity of a single neuron during an electrophysiological experiment]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 65, no. 6, pp. 934–937. (In Russian)
- Granstrem, M. P., Chikhman, V. N. (1978) Sovremennyye vychislitel'nye sredstva avtomatizatsii rechevykh issledovaniy [Modern computing tools for automation of speech research]. In: *Avtomatizatsiya eksperimental'nykh fiziologicheskikh issledovaniy [Automation of experimental physiological research]*. Leningrad: [s. n.], pp. 26–36. (In Russian)
- Granstrem, M. P., Chikhman, V. N. (1981) Tsifrovaya model' recheobrazovaniya v rechevom trakte s poteryami [Digital model of speech production in the vocal tract with losses]. In: *Issledovanie modelej recheobrazovaniya i rechevospriyatiya [Study of speech formation and speech perception models]*. Leningrad: Nauch. sovet po kompleks. probl. fiziologii cheloveka i zhivotnykh Publ., pp. 80–86. (In Russian)
- Gusev, V. M., Kislyakov, V. A. (1986) Vzaimodejstvie otolitovogo organa polukruzhnykh kanalov vestibulyarnogo apparata v sisteme uglovoj stabilizatsii cheloveka v prostranstve [Interaction of the otolith organ of the semicircular canals of the vestibular apparatus in the human angular stabilization system in space]. *Biofizika — Biophysics*, vol. 31, no. 1, pp. 123–127. (In Russian)
- Gusev, V. M., Orlov, I. V., Dolgobrodov, S. G. (1996) Diffuziya endolimfy kak vozmozhnyi mekhanizm vestibulyarnoi retseptsii [Endolymph diffusion as a possible mechanism of vestibular perception]. *Sensornye sistemy — Sensory systems*, vol. 10, no. 1, pp. 80–90. (In Russian)
- Gusev, V. M., Podvigin, N. F. (1986) Model' sistemy upravleniya neproizvol'nymi dvizheniyami glaz [Model of the control system of involuntary eye movements]. *Biofizika — Biophysics*, vol. 31, no. 2, pp. 309–312. (In Russian)
- Guter, R. S., Polunov, Yu. L. (1981) *Ot abaka do komp'yutera [From the abacus to the computer]*. Moscow: Znanie Publ., 208 p. (In Russian)
- Ivanov, K. P., Kleshchev, A. S. (1975) *Biologicheskij vychislitel'nyj tsentr: O printsipakh organizatsii i nauch. zadachakh [Biological Computing Center: On the Principles of Organization and Scientific Tasks]*. Leningrad: Nauka Publ., 140 p. (In Russian)
- Kalashnikov, S. G. (1985) *Elektrichestvo [Electricity]*. Moscow: Nauka, 576 p. (In Russian)
- Karpov, B. A., Shtrom, V. F., Chikhman, V. N. (1993) Mashinnyj analiz rezul'tatov registratsii dvizhenij glaz v processe chteniya [Machine analysis of the results of recording eye movements during reading]. *Rossiiskij Fiziologicheskij zhurnal im. I. M. Sechenova*, vol. 79, no. 10, pp. 92–98. (In Russian)
- Kazakova, I. A. (2011) *Istoriya vychislitel'noj tekhniki [History of computing technology]*. Penza: Penza State University Publ., 232 p. (In Russian)

- Kislyakov, Yu. Ya., Levkovich, Yu. I., Mal'cev, N. A., Volodina, I. L. (1985) Televizionnyj metod izmereniya formennykh elementov krovi [Television method for measuring blood cells]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 71, no. 6, pp. 669–673. (In Russian)
- Kleshchev, A. S., Temov, V. L. (1973) *Yazyk programmirovaniya INF i ego realizatsiya [The INF programming language and its implementation]*. Leningrad: Nauka Publ., 167 p. (In Russian)
- Kopejkin, M. A., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (1988) Modul' "selektor-formirovatel'" dlya obrabotki na EVM impul'snoj aktivnosti neyronov [Module "selector-shaper" for computer processing of impulse activity of neurons]. In: *Sredstva avtomatizatsii fiziologicheskikh issledovanij [Devices of automation of physiological research]*. Leningrad: Nauka Publ., pp. 46–50. (In Russian)
- Kozhevnikov, V. A., Meshcherskij, R. M. (1963) *Sovremennyye metody analiza elektroentsefalogrammy [Modern methods of electroencephalogram analysis]*. Moscow: Medgiz Publ., 327 p. (In Russian)
- Kuperman, A. M., Podvigin, N. F. (1988) Avtomaticheskoe izmerenie parametrov dvizhenij stimula pri issledovanii prostranstvenno-vremennykh svoystv retseptivnykh polej neyronov [Automatic measurement of stimulus movement parameters in the study of spatiotemporal properties of receptive fields of neurons.]. In: V. A. Govyrin (ed.). *Sredstva avtomatizatsii fiziologicheskikh issledovanij [Physiological research automation tools]*. Leningrad: Nauka Publ., pp. 113–117. (In Russian)
- Kuznetsov, V. L., Garina, I. A., Emel'yanov, N. A. (1974) K analizu kinetiki vyvedeniya natriya-22 iz srezov kory golovnogo mozga krysa [To the analysis of the kinetics of sodium-22 excretion from sections of rat cerebral cortex on a computer of neuronal impulse activity]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 60, no. 4, pp. 507–512. (In Russian)
- Levashov, M. M., Rodionov, V. D., Starostenko, A. M. (1974) Statisticheskie svyazi mezhdru harakteristikami vestibulyarnogo nistagma [Statistical relationships between vestibular nystagmus characteristics]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 60, no. 4, pp. 513–523. (In Russian)
- Levkovich, Yu. I., Mal'tsev, N. A., Rychkova, S. V., Lebedev, V. P. (1994) Opredelenie ploshchadi eksperimental'nykh yazvennykh porazhenij zheludka s pomoshch'yu interaktivnogo televizionnogo metoda [Determination of the area of experimental gastric ulcers using an interactive television method]. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*, no. 1, pp. 54–55. (In Russian)
- Levkovich, Yu. I., Sotnikov, O. S. (1976) Kinoissledovanie vremennykh i geometricheskikh parametrov [Cinematic study of temporal and geometric parameters]. *Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii*, vol. 71, no. 9, pp. 5–11. (In Russian)
- Menshutkin, V. V., Suvorova, T. P., Temov, V. L. (1975) Realizatsiya yazyka modelirovaniya gidrobiologicheskikh protsessov v sisteme MASON [Implementation of the modeling language for hydrobiological processes in the MASON system]. In: *Prikladnaya matematika i vychislitel'naya tekhnika v biologii [Applied Mathematics and Computer Science in Biology]*. Leningrad: Nauka Publ., pp. 63–80. (In Russian)
- Molodtsov, V. O., Chikhman, V. N., Solnushkin, S. D. (1999) Apparato-programmnoe obespechenie ARM fiziologa [Physiologist's workstation hardware and software]. *Pribory i sistemy upravleniya*, no. 3, pp. 15–19. (In Russian)
- Molodtsov, V. O., Smirnov, V. Yu., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2021a) Ustrojstvo vvoda otvetov dlya psihofizicheskikh eksperimentov [Response input device for psychophysical experiments]. *Pribory i tekhnika eksperimenta — Instruments and Experimental Techniques*, no. 2, pp. 153–154. <https://doi.org/10.31857/S0032816221020178> (In Russian)
- Molodtsov, V. O., Smirnov, V. Yu., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2021b) Apparato-programmnoe obespechenie povedencheskogo eksperimenta [Hardware and software for a behavioral experiment]. *Biomeditsinskaya radioelektronika — Journal Biomedical Radioelectronics*, vol. 24, no. 1, pp. 42–47. <https://doi.org/10.18127/j15604136-202101-06> (In Russian)
- Molodtsov, V. O., Smirnov, V. Yu., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2022) Ustrojstvo dlya registratsii fiziologicheskikh parametrov laboratornykh zhivotnykh [A device for recording physiological parameters of laboratory animals]. *Pribory i tekhnika eksperimenta — Instruments and Experimental Techniques*, no. 1, pp. 159–161. <https://doi.org/10.31857/S0032816222010189> (In Russian)
- Molodtsov, V. O., Smirnov, V. Yu., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2023) Registratsiya refleksa ispuga [Registration of the strange reflex]. *Pribory i tekhnika eksperimenta — Instruments and Experimental Techniques*, no. 3, pp. 154–156. <https://doi.org/10.31857/S0032816223030242> (In Russian)
- Molodtsov, V. O., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2011) Ustrojstvo dlya izmereniya signalov v elektrofiziologicheskom eksperimente [A device for measuring signals in an electrophysiological experiment]. *Pribory i tekhnika eksperimenta — Instruments and Experimental Techniques*, no. 5, pp. 163–165. (In Russian)
- Nadporozhskaya, E. V., Egorov, S. K. (1975) *Biblioteka protsedur na yazyke INF [Library of procedures in the INF language]*. Leningrad: Nauka Publ., 192 p. (In Russian)
- Panteleev, S. S., Chikhman, V. N., Molodtsov, V. O. (1996) Avtomatizirovannaya elektrofiziologicheskaya ustanovka dlya issledovaniya motornoj funktsii zheludочно-kishechnogo trakta anestetizirovannoj krysy [Automated electrophysiological setup for studying the motor function of the gastrointestinal tract of anesthetized rats]. *Rossiiskij Fiziologicheskij zhurnal im. I. M. Sechenova*, vol. 82, no. 4, pp. 135–140. (In Russian)

- Podvigin, N. F., Chizh, A. N., Levkovich, Yu. I. et al. (1992) Komp'yuternyj analiz prostranstvennogo rel'efa aktivnosti na vykhodakh neyronov NKT koshki [Computer analysis of the spatial relief of activity at the outputs of cat NKT neurons]. *Sensornye sistemy — Sensory systems*, vol. 6, no. 1, pp. 83–94. (In Russian)
- Podvigin, N. F., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (1986) Avtomatizatsiya nauchnykh issledovaniy v Institute fiziologii im. I. P. Pavlova AN SSSR [Automation of scientific research at the Pavlov Institute of Physiology, Academy of Sciences of the USSR]. *Avtometriya — Optoelectronics*, no. 6, pp. 101–103. (In Russian)
- Polunov, Yu. L. (2004) *Ot abaka do komp'yutera: sud'by lyudej i mashin. Kniga dlya chteniya po istorii vychislitel'noj tekhniki* [From an abacus to a computer: the fate of people and machines. A book for reading on the history of computing technology]. Moscow: Russian edition Publ., 546 p. (In Russian)
- Rodionov, V. D. (1980) Minimal'no fazovaya model' dinamicheskogo spektral'nogo analiza zvukov na periferii slukha [Minimum phase model of dynamic spectral analysis of sounds in the peripheral hearing]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 66, no. 1, pp. 119–124. (In Russian)
- Romanov, S. P. (1974) Modelirovanie mekhanizmov spinal'nogo urovnya upravleniya myshechnym sokrashcheniem [Modeling of spinal level mechanisms of muscle contraction control]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 60, no. 10, pp. 1508–1517. (In Russian)
- Romanov, S. P. (1975) Modelirovanie strukturno-funksional'noj organizatsii myshtsy i ee retseptornogo apparata [Modeling the structural and functional organization of the muscle and its receptor apparatus]. In: V. D. Glezer (ed.). *Mekhanizmy pererabotki informatsii v sensorynykh sistemakh* [Information transfer mechanisms in sensor systems]. Leningrad: Nauka Publ., pp. 160–184. (In Russian)
- Shapkov, Yu. T., Romanov, S. P. (1972) Ustanovka dlya issledovaniya sledyashchikh dvizhenij cheloveka [Installation for studying human tracking movements]. In: A. I. Berga (ed.). *Nekotorye problemy biologicheskoy kibernetiki* [Some problems of biological cybernetics]. Leningrad: Nauka Publ., pp. 153–158. (In Russian)
- Shelepin, Yu. E., Kolesnikova, L. I., Levkovich, Yu. I. (1985) *Vizokontrastometriya: Izmerenie prostranstvennykh peredatochnykh funktsij zritel'noj sistemy* [Vizokontrastometriya: Measurement of Spatial Transfer Functions of the Visual System]. Leningrad: Nauka Publ., 103 p. (In Russian)
- Shelepin, Yu. E., Makulov, V. B., Krasil'nikov, N. N. et al. (1998) Ikonika i metody otsenki funktsional'nykh vozmozhnostej zritel'noj sistemy [Iconics and methods of assessing the functional capabilities of the visual system]. *Sensornye sistemy — Sensory systems*, vol. 12, no. 3, pp. 319–328. (In Russian)
- Smolov, V. B. (1972) *Analogovyye vychislitel'nye mashiny* [Analog computers]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 408 p. (In Russian)
- Smolov, V. B., Puzankov, D. V. (2001). *Shest' pokolenij vychislitel'noj tekhniki: iz istorii kafedry VT LETI* [Six generations of computing technology: from the history of the LETI department of computer science]. St. Petersburg: ETU “LETI”, 242 p. (In Russian)
- Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2015a) Programmnye sredstva dlya kontrolya nejronal'noj aktivnosti [Software for control of neuronal activity]. *Biomeditsinskaya radioelektronika — Journal Biomedical Radioelectronics*, no. 4, pp. 78–80. (In Russian)
- Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2015b) Programmnoe obespechenie dlya vypolneniya izmerenij na elektronno-mikroskopicheskikh izobrazheniyakh [Software for performing measurements on electron microscopic images]. *Opticheskii Zhurnal*, vol. 82, no. 10, pp. 16–20. (In Russian)
- Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2017) Organizatsiya vychislitel'nykh protsessov dlya fiziologicheskikh issledovaniy dykhaniya [Software for physiological respiratory research]. *Biomeditsinskaya radioelektronika — Journal Biomedical Radioelectronics*, no. 3, pp. 48–54. (In Russian)
- Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2018) Komp'yuternaya obrabotka biologicheskikh izobrazhenij [Experience of biological image processing]. *Biomeditsinskaya radioelektronika — Journal Biomedical Radioelectronics*, no. 2, pp. 36–40. (In Russian)
- Stolyarova, E. I., Belova, N. Yu., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2022) Programmnyj kompleks dlya korrektsionnoj raboty pri obuchenii detej so slukhorechevymi narusheniyami [Software Package for Special Teaching and Testing of Children with Hearing and Speech Impairments]. *Psikhologo-pedagogicheskie issledovaniya — Psychological-Educational Studies*, vol. 14, no. 1, pp. 77–94. <https://doi.org/10.17759/psyedu.2022140106> (In Russian)
- Stolyarova, E. I., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (2020) Vspomogatel'nyj programmnyj kompleks dlya ispol'zovaniya v logopedicheskoy praktike [Assistive software complex for logopedic practice]. *Vestnik psikhofiziologii — Psychophysiology news*, no. 3, pp. 207–210. (In Russian)
- Temov, V. L. (1971) Model' dlya opisaniya rezul'tatov psikhooakusticheskikh eksperimentov so statsionarnymi signalami [Model for describing the results of psychophysical experiments with stationary signals]. In: *Analiz rechevykh signalov chelovekom* [Human speech analysis]. Leningrad: Nauka Publ., pp. 36–49. (In Russian)
- Troitskaya, V. S., Kuznetsov, V. I., Panin, A. I. (1992) Adaptatsionno-kompensatornye reaktsii pishchevaritel'noj sistemy pri razviti atrofii podzheludochnoj zhelezy [Adaptive and compensatory reactions of the digestive system in the development of pancreatic atrophy]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 78, no. 8, pp. 158–163. (In Russian)

- Ventsov, A. V., Nadporozhskaya, E. V., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (1990) Issledovanie vospriyatiya rechi: Organizatsiya interaktivnogo rezhima obrabotki rechevykh signalov [Study of speech perception: Organization of an interactive mode of processing speech signals]. *Sensornye sistemy — Sensory Systems*, vol. 4, no. 3, pp. 327–330. (In Russian)
- Vershinina, E. A., Danilov, Yu. P., Orel, E. L. et al. (1991) Ispol'zovanie ritmograficheskogo metoda dlya kontrolya sostoyaniya zivotnogo [Using the rhythmographic method to control the state of the animal]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 77, no. 7, pp. 99–103. (In Russian)
- Vershinina, E. A., Safarova, G. L. (2019) O primenении metodov matematicheskoy statistiki v klinicheskikh i eksperimental'nykh issledovaniyakh [On the use of mathematical statistics methods in clinical and experimental studies]. *Uspekhi gerontologii — Advances in Gerontology*, vol. 32, no. 6, pp. 1052–1062. (In Russian)
- Voronova, M. L. (1979) Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh form povedeniya u antropoidov [Mathematical modeling of complex forms of behavior in anthropoids]. In: *Mekhanizmy uslovnoreflektornogo i otsrochennogo povedeniya u obez'yan [Mechanisms of conditioned reflex and delayed behavior in monkeys]*. Leningrad: Nauka Publ., pp. 103–121. (In Russian)
- Voronova, M. L., Kleshchev, A. S. (1975) Modelirovanie protsessa formirovaniya ponyatij v odnom klasse eksperimentov [Modeling the process of concept formation in one class of experiments]. In: *Prikladnaya matematika i vychislitel'naya tekhnika v biologii [Applied mathematics and computing in biology]*. Leningrad: Nauka Publ., pp. 15–26. (In Russian)
- Voronova, M. L., Kleshchyov, A. S., Firsov, L. A. (1978) Protsessy naucheniya slozhnomu povedeniyu [Processes of learning complex behavior]. *Doklady Akademii Nauk*, vol. 240, no. 5, pp. 1248–1251. (In Russian)
- Zhakov, M. L., Pershin, Zh. A., Solnushkin, S. D., Chikhman, V. N. (1984) Organizatsiya mnogomashinnogo kompleksa dlya avtomatizatsii laboratornykh issledovaniy [Organization of a multi-machine complex for automation of laboratory research]. *Upravlyayushchie sistemy i mashiny*, no. 1, pp. 23–26. (In Russian)