

УДК 51(091)

**Развитие вычислительной математики
и математического моделирования в Институте
математики Академии наук Украинской ССР**

Ю. А. Митропольский, П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчишин

В Институте математики АН УССР с самого начала его создания (1933 г.) придавалось большое значение вопросам прикладной математики и решению актуальных задач естествознания и техники. При этом особое внимание уделялось разработке методов решения краевых задач и эффективных методов теории функций комплексного переменного.

На основе этих методов в 1947—1950 гг. Институт математики АН УССР провел большую работу по оказанию помощи стройкам на Волге, Днепре, Дону, Аму-Дарье и др.

В 1946 г. в Институте математики АН УССР при отделе механики сплошных сред по инициативе академика М. А. Лаврентьева была создана лаборатория электромоделирования, работа которой успешно развивалась в последующие годы, на чем мы подробнее остановимся ниже.

В 1949 г. при отделе прикладной математики института была организована группа по теории счетно-аналитических машин с вычислительной станцией (руководитель — И. Б. Погребынский). Станция была оснащена электромеханическими машинами, с помощью которых выполнялись несколько важных исследовательских тем.

В 1956 г. Институту математики АН УССР была передана Лаборатория вычислительной математики и техники с малой электронной вычислительной машиной МЭСМ — первой в СССР электронной машиной, созданной под научным руководством академика С. А. Лебедева в Институте электротехники АН УССР. Возглавил лабораторию академик В. М. Глушков. В лаборатории разрабатывались алгоритмы и языки для ЭВМ, проводился анализ алгоритмических и информационных возможностей таких машин. Наиболее ценным результатом этих работ оказалась идея адресного языка программирования, предложенная В. С. Королюком и Е. Л. Ющенко.

Успешное развитие работ лаборатории вычислительной математики и техники привело к созданию в 1957 г. Вычислительного центра АН УССР. Из Института математики в новую организацию вошло 13 научных сотрудников, 4 аспиранта и свыше 100 человек научно-вспомогательного и административного персонала. Вычислительный центр в 1962 г. преобразован в Институт кибернетики АН УССР.

В 1957 г. в Институте математики АН УССР под руководством академика АН УССР Б. В. Гнеденко была создана группа биокибернетики, в состав которой входили математики, инженеры и биологи. Впоследствии эта группа была реорганизована в отдел биологической кибернетики (заведующий отделом — член-корреспондент Академии

медицинских наук СССР Н. М. Амосов). В этом отделе проводились исследования в области биологической кибернетики в направлении автоматизации процессов диагностики, моделирования психических процессов на ЭВМ, изучения процессов управления и регулирования живых организмов. Отдел биологической кибернетики был впоследствии переведен в Институт кибернетики АН УССР.

В лаборатории электромоделирования при отделе механики сплошных сред П. Ф. Фильчаковым и В. И. Панчишиным в 1947 г. был разработан и изготовлен интегратор ЭГДА-1, предназначенный для моделирования задач фильтрации на «электролитическом картоне», предложенном П. Ф. Фильчаковым. Отметим, что картон, пропитанный электролитом повышенной стабильности, имел весьма существенные преимущества перед употреблявшимся до этого станиолом и электролитической ванной. Картон позволял легко реализовать контур моделируемой области, допускал моделирование задач фильтрации в неоднородном грунте и т. д.

В 1948 г. лаборатория электромоделирования была оснащена новыми сеточными интеграторами ЭИ-11 и ЭИ-12, предназначенными для моделирования задач, описываемых дифференциальными уравнениями эллиптического и параболического типов в частных производных.

На этих интеграторах под руководством члена-корреспондента АН УССР В. Е. Дьяченко решались плоские и осесимметричные задачи теории потенциала, теории упругости и другие.

В 1949—1950 гг. В. И. Панчишин разработал и построил автоматическое измерительное устройство для измерения потенциалов на сеточном интеграторе типа ЭИ-11. В имевшихся в институте сеточных интеграторах ЭИ-11 и ЭИ-12 была улучшена контактная система магазинов резисторов, повышена точность и автоматизирован сам процесс измерения, однако малое количество узловых точек сетки (450), сложность набора как самой сетки, так и реализации граничных условий не позволяли решать на них даже простые задачи фильтрации с более или менее сложным контуром.

Начавшееся в то время крупное гидротехническое строительство требовало разностороннего исследования задач фильтрации, что привело к развитию и совершенствованию методов ЭГДА академика Н. Н. Павловского, базировавшихся на применении сплошных проводящих сред. В 1949 г. П. Ф. Фильчаков предложил использовать в качестве проводящей среды для электромоделирования электропроводную бумагу промышленного изготовления, разработанную для различных технических целей в 1943 г. Б. Б. Гутманом.

В том же году В. И. Панчишин и П. Ф. Фильчаков по заказу Союзводпроекта (Москва) разработали и построили интегратор ЭГДА-3 с использованием в качестве проводящей среды как «электролитического картона», так и электропроводной бумаги.

Электроинтегратор ЭГДА-3 отличался от известных в то время подобных установок тем, что питание модели осуществлялось звуковой частотой от специального электронного генератора в диапазоне $2 \div 5$ кГц и применением разработанного В. И. Панчишиным оригинального безконтактного вектормерного устройства, в котором отсутствовали прерыватели и отдельный источник питания. Электроинтегратор ЭГДА-3 очень выигрывал универсальным устройством шин для быстрой реализации граничных условий на контуре любой кривизны. Как известно, реализация граничных условий в электролитической ванне связана с преодолением существенных трудностей.

В 1951 г. группа сотрудников Института математики разработала различные способы решения сложных задач фильтрации, в том числе методики и технические средства для решения этих задач при помощи электромоделирования на электропроводной бумаге.

В 1951 г. на опытном интеграторе ЭГДА-5 было исследовано 24 различных варианта водосливной плотины Каховской ГЭС, 16 вариантов земляной плотины на реке Молочной, 6 вариантов флютбета гидростанции при этой плотине, 20 вариантов задач фильтрации из канала и свыше 40 вариантов задачи фильтрации в обход плеч плотины и некоторые другие (П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчишин, В. Н. Остапенко, В. Е. Шаманский, П. А. Рудченко).

Кроме указанных исследований, Институтом математики при участии профессора А. М. Сенкова (ВНИИГ, Ленинград) была проведена большая работа по проверке в натуре на плотине КураховГРЭС при напоре свыше 10 м теоретических результатов и результатов электро-моделирования. На основании проведенных исследований при постройке плотины КураховГРЭС по рекомендации Института математики (А. М. Сенков, П. Ф. Фильчаков) металлический шпунт длиной 20 м был заменен глиняным понуром длиной 30 м — случай, не имеющий precedентов в мировой практике строительства гидротехнических сооружений I класса.

Для натуральных наблюдений В. И. Панчишиным был разработан и установлен на плотине КураховГРЭС специальный дистанционный автоматический электропьезометр, который передавал информацию о состоянии уровня воды в водохранилище по действующей телефонной линии связи на расстояние около 6 км.

Работа, выполненная Институтом математики по плотине Сенкова, позволила сократить сроки строительства этой плотины на полгода и сэкономить большое количество остродефицитного металлического шпунта, что было отмечено в официальных отзывах строителей и эксплуатационников. Результаты этих наблюдений и накопленный опыт были использованы при выполнении задания по водосливной плотине Каховской ГЭС на стадии технического проекта.

В результате разработки методики электро-моделирования актуальных задач гидротехнического строительства и интеграторов ЭГДА для решения этих задач Институт математики установил научные связи с крупными научно-исследовательскими и проектными организациями Украины и всего Советского Союза такими, как Институт гидромеханики АН УССР (Киев), «УКРГИДЭП» (Харьков), «Союзводпроект» (Москва), «Гидроэнергопроект» (Москва), «ВНИИГ» (Ленинград), «Укргипроводхлопок» (Киев), Кураховстрой (Донецк) и др.

В последующие годы П. Ф. Фильчаков и В. И. Панчишин разработали несколько моделей интеграторов ЭГДА-6/51, ЭГДА-6/53, малогабаритный вариант ЭГДА-7/54 и универсальную установку ЭГДА-8/56 с приставкой для задач плановой фильтрации водопонижения и осушения карьеров полезных ископаемых. К этим интеграторам были разработаны специальные приспособления для реализации граничных условий на моделях из электропроводной бумаги. Одновременно с конструированием интеграторов разрабатывалась методика решения технических задач на них.

В 1952—1957 гг. опытными партиями было выпущено 69 интеграторов, которые привлекли к себе интерес многих исследователей различных научных, проектных и учебных институтов и организаций Киева, Москвы, Тбилиси, Харькова, Куйбышева и Горького.

Согласно разработанному в Институте математики АН УССР техническим требованиям Б. Б. Гутман во ВНИИБе (Ленинград) разработал электропроводную бумагу в большом диапазоне проводимостей при повышенной однородности специально для электро-моделирования. Первая, опытная, партия была изготовлена в 1956 г. на Марийском бумажном комбинате. В 1959 г. там же изготовлена вторая партия бумаги, в 1963 г. — третья. С 1967 г. Министерство лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности включило в план

ежегодного изготовления электропроводную бумагу различных сортов для электро моделирования.

С 1958 г. лаборатория электро моделирования получила самостоятельную научную тематику с особым акцентом на решении прикладных вопросов аналого-вычислительной техники и внедрения полученных результатов.

Конечной целью разработки интеграторов и методики решения задач на них на всем протяжении многолетних поисков и исследований являлись доступность и широкое применение полученных результатов для решения различных технических задач.

Вышедшие к этому времени научные статьи, организация мелкосерийного выпуска интеграторов и выступления на Всесоюзных конференциях поставили лабораторию электро моделирования Института математики АН УССР в положение ведущего Всесоюзного центра по вопросам моделирования на электропроводной бумаге.

В 1960 г. на основании накопленного опыта эксплуатации интеграторов ЭГДА-6, ЭГДА-7 и ЭГДА-8 создана новая универсальная модель — интегратор ЭГДА-9/60.

Опытный образец интегратора ЭГДА-9/60 принят Межведомственной комиссией, созданной Государственным комитетом при Совете Министров СССР по радиоэлектронике, и рекомендован к серийному производству. С конца 1960 г. интегратор ЭГДА-9/60 выпускается серийно.

Итог этих работ был подведен в ряде статей и монографиях П. Ф. Фильчакова «Теория фильтрации под гидротехническими сооружениями», т. 1, 2 (1959—1960 гг.), П. Ф. Фильчакова и В. И. Панчишина «Интеграторы ЭГДА. Моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге» (1961 г.), послуживших основой для дальнейшего развития электро моделирования как у нас, так и за рубежом.

Выпускаемые серийно интеграторы ЭГДА-9/60 используются в основном для исследования стационарных процессов. Эти же приборы, снабженные рядом дополнительных приспособлений, а также в виде отдельных блоков, служат составной частью различных комбинированных моделей для прямых исследований нестационарных процессов и квазианалоговых методов исследования.

Моделирование на электропроводной бумаге ввиду своей простоты и доступности охотно используется исследователями из самых различных областей науки и техники и дает результаты, вполне удовлетворительные для практики.

За восемь лет изготовлено сотни интеграторов ЭГДА-9/60, которые используются примерно в 500 организациях 133 городов всех 15 республик Советского Союза для исследования задач фильтрации воды и нефти в пластах, добычи полезных ископаемых, аэродинамики и гидродинамики, теплопроводности, для построения полей магнитных, электрических и электростатических, для решения задач теории упругости и многих др. Интегратор ЭГДА-9/60 находит применение в ряде новых интересных и актуальных задач, из которых можно назвать следующие: определение стационарных и нестационарных температурных полей в опоре корпуса атомного реактора, расчет термического сопротивления фактического контакта в строительной механике; расчет тепло- и газообмена в зернистом слое при вынужденной конвекции в металлургии, шахтах, доменных печах, в промышленности строительных материалов, различных сушилках, картофеле- и овощехранилищах; исследование напряженного состояния кручения в стержнях; исследование тепловых, электрических и магнитных полей в микроэлектродах полупроводниковых приборов; исследование электрических полей в фоточувствительных слоях и микромодулях; исследование магнитных полей для расчета взаимодействия магнитных вытяжных валков, магнитной проводимости

и индуктивности обмоток электрических машин и аппаратов. Интеграторы ЭГДА с электропроводной бумагой применяются для исследования электрических полей в электролитах гидроэлектрометаллургии, при электролизе расплавленных сред, при электрическом синтезе и гальваностегии, для проектирования реакторов синтеза полимеров. Интегратор ЭГДА-9/60 применяется также для решения задач экономики, для которых используется сочетание метода интерполирования функций двух переменных с экстраполяцией этих функций за пределы областей их определения, для моделирования задач оптимального построения систем электросетей, для исследования некоторых задач медицины и бионики.

На рис. 1 представлена карта-схема (по состоянию на 31. XII 1967 г.), на которой отмечено количество внедренных интеграторов. Ниже приведены данные (в % от общего числа), характеризующие распределение интеграторов по областям применения:

Гидротехника, гидрогеология и горная механика	36,8
Машино-, турбо- и реакторостроение теплотехника	19,6
Строительная механика	13,4
Электротехника, радиотехника и электроника	12,7
Аэромеханика, кораблестроение	10,2
Общетехнический профиль	7,3
Всего	100,0%

Интеграторы ЭГДА-8/56 и ЭГДА-9/60 экспонировались на многих выставках и ярмарках в СССР и за рубежом и награждены медалями и дипломами на выставках в Москве, Киеве, Лейпциге, Праге, Варшаве, Будапеште и Пловдиве.

На интеграторе ЭГДА решены такие задачи, которые другими способами, кроме натуральных испытаний, не могут быть в настоящее время решены. А это означает, что можно без постройки экспериментального агрегата выбрать оптимальный вариант конструкции. В этом случае экономия на каждой проектируемой установке составляет более 500 тысяч рублей.

Значительный экономический эффект можно получить, применяя интегратор ЭГДА не только при проектировании крупных сооружений и установок, но и при разработке металлообрабатывающих инструментов, отдельных узлов и деталей различных устройств.

Особенно эффективным является исследование задач водопонижения и осушения карьеров полезных ископаемых, где с помощью электромоделирования можно определить оптимальное количество водопонижительных штреков и скважин.

Для решения подобных задач В. И. Панчишин в 1962 г. разработал и построил опытный образец интегратора ЭГДА-10/62. Этот интегратор, общий вид которого представлен на рис. 2, имеет специальный стенд (с рабочей площадью 2×4 м) для крупноформатных моделей водопонижительной зоны и позволяет реализовать одновременно граничные и начальные условия на несколько сот скважин различных масштабов на любых водоносных горизонтах. Настройка граничных и начальных условий производится с помощью автоматического опросного устройства с цифровой индикацией, что значительно сокращает время реализации исследования.

В Институте математики АН УССР под руководством В. И. Панчишина закончена разработка и испытание опытного образца интегратора ЭГДА-11, качественные показатели которого значительно превосходят показатели интеграторов ЭГДА-9 и ЭГДА-10. Этот интегратор имеет автоматическое цифровое измерительное устройство, позволяющее быстро определить необходимые параметры исследуемого поля. В. И. Панчишиным и П. Ф. Фильчаковым заканчивается разработка малогабарит-



Рис. 1. Карта-схема внедрения интегратора ЭГДА-9/60.
 (На карте в состав некоторых крупных городов включены также и районы)

ного интегратора ЭГДА-12 с полуавтоматическим измерительным устройством, упрощающим процесс моделирования общих задач теории поля. Этот интегратор очень прост в обслуживании и предназначен в основном для проведения учебных практикумов в вузах и других учебных заведениях.

Интеграторы ЭГДА-11 и ЭГДА-12 предназначены для серийного производства.

По инициативе академика АН УССР Ю. А. Митропольского в Институте математики АН УССР в 1964 г. создана лаборатория элект-

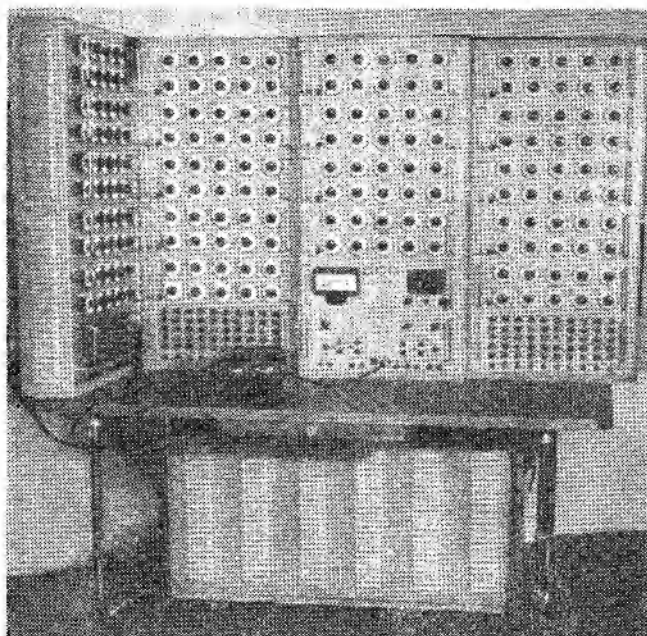


Рис. 2. Интегратор ЭГДА-10/62.

ромоделирования нестационарных процессов, а в 1966 г.— вычислительная лаборатория, оснащенная электронно-цифровой машиной «Мир», в которой ведутся работы прикладного характера в сотрудничестве с ведущими проектными организациями.

В лаборатории моделирования нестационарных процессов при отделе прикладной математики с успехом разрабатываются устройства и установки для решения многих задач нестационарной теплопроводности, фильтрации и других задач теории поля. Наиболее важными достижениями этой лаборатории являются интеграторы нестационарных полей ИИП-1, ИИП-2, разработанные А. Г. Тарапоном. С 1967 г. начат экспериментальный выпуск интеграторов ИИП-2, которые успешно применяются в ряде организаций для моделирования на электропроводной бумаге с распределенной емкостью актуальных нестационарных задач гидротехники, теплофизики и электроники.

Результаты, полученные в Институте математики АН УССР в области моделирования различных задач на интеграторах ЭГДА с использованием электропроводной бумаги, находят дальнейшее развитие в работах многих организаций, коллективов и отдельных исследователей.

Математическое моделирование на электропроводной бумаге промышленного производства является наиболее простым и доступным широкому кругу исследователей средством аналоговой техники. Благодаря

серийному выпуску интеграторов ЭГДА-9/60, а также разработкам ряда оригинальных установок, приборов и моделирующих устройств типа ЭГДА оно получило всеобщее признание.

С целью обобщения опыта по применению интеграторов ЭГДА и электропроводной бумаги Институтом математики АН УССР и Павильоном «Наука» Выставки передового опыта в народном хозяйстве УССР, с 21 по 24 мая 1968 г. был проведен Всесоюзный семинар по применению интеграторов ЭГДА-9/60 для решения краевых задач. В работе семинара приняло участие свыше 150 человек из 30 городов Советского Союза — представители 77 организаций. На семинаре было заслушано 67 докладов по решению задач гидротехники, тепловых полей, различных технических задач и о конструктивном расширении возможностей интегратора ЭГДА-9/60.

В настоящее время лаборатория электромоделирования Института математики АН УССР работает в направлении автоматизации процессов электромоделирования и разработки методики решения новых актуальных задач современной науки и техники.

Сотрудники лаборатории электромоделирования с 1949 г. принимают активное участие во Всесоюзных конференциях по вопросам математического моделирования, аналого-вычислительной техники, гидромеханики и механики.

Поступила 7.XII 1968 г.
Институт математики АН УССР