

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИБИРСКОМ ОТДЕЛЕНИИ РАН. ТРАДИЦИИ И СОВРЕМЕННОСТЬ

Ю. И. ШОКИН, Л. Б. ЧУБАРОВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия*  
e-mail: [dir@ict.nsc.ru](mailto:dir@ict.nsc.ru), [chubarov@ict.nsc.ru](mailto:chubarov@ict.nsc.ru)

Appearance of this papers in the “Journal of Computational Technologies” in this jubilent for the SB RAS year is definitely not a coincidence. This article is devoted to the Academician Yanenko’s Research School — one of the most influential research schools, which always pays attention to the publication of scientific results for dissimination of new pioneering, cutting edge results, building a strong research team, encouraging young researchers and establishing the priority of the Russian science worldwide. Influence of the School built by N.N. Yanenko was not confined by the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences but was very much appreciated both nationally and internationally.

Говоря об истории становления математического моделирования и информационных технологий в Сибирском отделении Академии наук, необходимо обратиться к традициям школы академика Н.Н. Яненко и уделить особое внимание его деятельности по координации исследований в этой проблемной области, связанной с решением актуальных для страны и мира задач механики сплошных сред — гидродинамики, аэродинамики, фильтрации, упругости и т. п.

Эта работа привела к созданию так называемого “Кольца семинаров Н.Н. Яненко”, включавших совокупность школ, конференций, совещаний, к участию в которых привлекались ученые и специалисты ведущих научных и промышленных центров страны, университетов и академий, зарубежные ученые самой высокой квалификации, определявшие в 60-80-е годы магистральные направления и основные тенденции развития соответствующих отраслей науки.

Не менее значимым фактором успеха стал выпуск научного издания, обеспечившего своевременное представление результатов научных исследований, объединившего вокруг себя опытных специалистов и научную молодежь, способствовавшего распространению и популяризации новых эффективных численных алгоритмов и вычислительных методов и технологий.

Речь идет о начатом в 1970 году издании информационного бюллетеня “Численные методы механики сплошной среды”. Он сразу же стал одним из немногих в те годы

реальных научных журналов, печатавших на своих страницах статьи по актуальным вопросам математического моделирования и вычислительной математики.

К сожалению, в силу существовавших тогда обстоятельств этому изданию не суждено было стать *официальным* научным журналом, но мечта его создателей воплотилась позднее, когда вышел в свет журнал “Вычислительные технологии”. И вот уже более десяти лет он издается Институтом вычислительных технологий СО РАН, стал одним из самых авторитетных журналов в своей тематической зоне, рецензируется крупнейшими международными сообществами Zentrablatt и AMS, неизменно входит во все списки ВАК.

Николай Николаевич Яненко был ученым с очень широким диапазоном интересов. Начав свою научную деятельность в области геометрии, он внес большой вклад в развитие новых направлений математики, связанных с вычислительными системами и приложениями. Среди специалистов по прикладной математике, механике, среди главных конструкторов он имел высочайший авторитет и признание.

С самого начала издания информационного бюллетеня Н.Н. Яненко удалось привлечь к совместной издательской работе не только самых известных в 70-е годы математиков-вычислителей, механиков, прикладных математиков из академической и вузовской среды, но и выдающихся специалистов, занимавшихся в те годы решением важных оборонных задач.

В составе первой редколлегии работали ученые с мировыми именами: О.М. Белоцерковский, Б.Л. Рождественский, В.В. Русанов, Л.А. Чудов (Москва), А.Ф. Сидоров (Свердловск), И.Д. Софронов (Арзамас), В.Ф. Куропатенко (Челябинск), О.Ф. Васильев, С.К. Годунов, А.Н. Коновалов, Е.И. Шемякин, Г.П. Курбаткин, Л.Н. Гутман (Новосибирск), Б.Н. Бублик (Киев). Активно участвовали в подготовке первых номеров В.И. Меркулов, Б.Г. Кузнецов, В.Д. Жигулев, Ю.Н. Ватолин. Очень большой объем



Академик Н.Н. Яненко

обязанностей по изданию бюллетеня лежал на ответственном секретаре редколлегии А.Н. Валиуллине (Новосибирск), проработавшем на этом посту более десяти лет.

В разные годы к участию в работе редколлегии привлекались В.М. Матросов (Иркутск), А.Д. Ляшко (Казань), И.Н. Молчанов (Киев), В.И. Полежаев (Москва), А.В. Кажихов, В.Г. Корнеев, В.П. Кочергин, Г.А. Михайлов, В.В. Сычев (Новосибирск).

В составе редколлегии, выпустившей в 1993 году последний номер бюллетеня, вместе с ветеранами, прошедшими с изданием долгий 23-летний путь (о них особый разговор), работали С.Н. Васильев (Иркутск), А.М. Гришин (Томск), А.С. Алексеев, Ю.А. Березин, В.П. Ильин, В.М. Ковеня, В.В. Пененко, В.М. Фомин, А.М. Харитонов, Ю.И. Шокин (Новосибирск), В.В. Шайдуров (Красноярск). Ответственным секретарем редколлегии последние два года работал В.Н. Шепеленко, сменивший на этом посту В.А. Новикова (1982–1985 гг.) и А.Г. Слепцова (1986–1991 гг.).

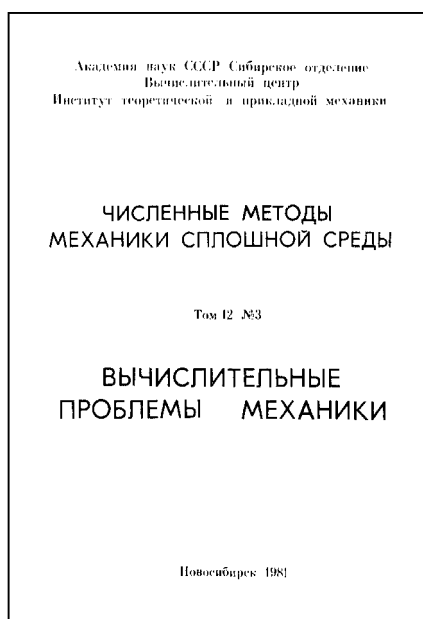
После ухода из жизни в январе 1984 г. Николая Николаевича Яненко пост ответственного редактора в разные годы занимали Б.Л. Рождественский (1984, т. 15, № 2), В.Г. Дулов (1984, т. 15, № 3 — 1990, т. 21(3)), В.М. Фомин (1990, т. 21(4), № 4 — 1993).

Весь путь в составе редколлегии издания прошли А.Н. Валиуллин, А.Н. Коновалов, Б.Л. Рождественский, А.Ф. Сидоров, И.Д. Софронов, Е.И. Шемякин.

Первоначально информационный бюллетень “Численные методы механики сплошной среды” выходил шесть раз в году. Эта периодичность не всегда соблюдалась, в некоторые годы издавалось семь выпусков, в некоторые — только пять.

Вплоть до 1980 года издателем был Вычислительный центр СО АН СССР. Соответствующее указание впервые появилось в 1974 году, с 1980 года эту работу совместно выполняли ВЦ СО АН СССР и ИТПМ СО АН СССР, а с 1992 года в списке издателей остался только Институт теоретической и прикладной механики Сибирского отделения.

В 1971 году информационный бюллетень стал называться тематическим сборником, в 1984 году каждый выпуск стал собственно тематическим и его содержание составляли статьи, посвященные узкому направлению исследований, но в 1987 году название



Обложка одного из выпусков сборника  
“Численные методы механики сплошной среды”

издания сменилось полностью — на его обложке появились слова “Моделирование в механике”.

Определенные изменения претерпевал и перечень основных направлений сборника, которые, безусловно, отражали пристрастия ответственных редакторов и их понимание процессов, происходящих в науке и в мире. Николаем Николаевичем Яненко — инициатором издания сначала в качестве базовых были приняты следующие направления:

- Численные методы решения задач механики сплошной среды;
- Исследования математических моделей механики сплошной среды;
- Исследования корректности постановки задач, возникающих в механике сплошной среды;
- Точные (аналитические) решения задач механики сплошной среды.

После перехода Н.Н. Яненко и его сотрудников из ВЦ СО АН СССР в ИТПМ СО АН СССР в 1976 году с целью интенсификации работ по созданию пакетов прикладных программ к этим направлениям добавилось еще одно, пятое:

- Технология программирования больших задач механики сплошной среды.

В 1987 году В.Г. Дулов серьезно изменил не только название, но и список основных направлений издания, заменив *Исследования корректности постановки задач, возникающих в механике сплошной среды* и *Точные (аналитические) решения задач механики сплошной среды* на

- Экспериментальное моделирование задач механики.

Уже в следующем, 1988, году были внесены дальнейшие уточнения в формулировки: так, было расширено толкование раздела о *технологии программирования* . . . , которая теперь включала не только *механику сплошной среды*, но и *механику* вообще. В том же году начиная с третьего номера издания аналогичное изменение коснулось и другого раздела, который превратился в

- Исследования математических моделей механики.

Изначальное направление “*механика сплошной среды*” осталось только в первом разделе, который сохранил свою исходную формулировку:

- Численные методы решения задач механики сплошной среды.

На страницах издания были опубликованы результаты, вошедшие в золотой фонд отечественной науки, многие статьи актуальны и по сей день, а сами сборники стали библиографической редкостью. К числу таких замечательных публикаций относятся статьи, вошедшие в самый первый выпуск:

**А.Н. Валиуллин, В.И. Паасонен.** Экономичные разностные схемы повышенного порядка точности для многомерного уравнения колебаний.

**Н.Н. Яненко, Н.Н. Анучина, В.Е. Петренко, Ю.И. Шокин.** О методах расчета задач газовой динамики с большими деформациями.

Этот список продолжается статьей немецкого математика, прекрасно включившегося в работу новосибирских ученых:

**Шенк Райнер.** Разностная схема для дифференциальных уравнений континуума Коссера,

а также работами наших соотечественников:

**В.М. Ковеня.** Численный метод расчета стационарных уравнений Навье—Стокса сжимаемого газа.

**Н.Н. Яненко, Б.И. Квасов.** Итерационный метод построения поликубических сплайн-функций.

**О.Ф. Васильев, М.Т. Гладышев, В.Г. Судобичер.** Численное решение задач о течениях с прерывными волнами в открытых руслах.

**А.Н. Коновалов.** Об одной системе уравнений в частных производных, возникающей при решении задач фильтрации в потенциалах.

**В.Ф. Куропатенко.** Приближенный метод расчета величин за фронтом ударной волны.

Особое место, безусловно, занимает работа

**Н.Н. Анучина.** О методах расчета течений сжимаемой жидкости с большими деформациями.

Для ее публикации был выделен отдельный выпуск (№ 4), ставший очень известным в кругу специалистов.

Внимательный читатель, знакомый с недавней историей развития численных методов математического моделирования, может с легкостью разглядеть в упомянутых выше статьях истоки направлений, на долгие годы определивших тематику исследований многих научных коллективов. В этом ряду, конечно же, и работы, посвященные качественному анализу конечно-разностных схем:

**Ю.И. Шокин, Л.А. Тушева.** О диссипативных разностных схемах для гиперболических систем уравнений.

**Н.Н. Яненко, Ю.И. Шокин.** Групповая классификация неявных разностных схем для системы уравнений газовой динамики.

**Ю.И. Шокин, З.И. Федотова.** Об одном классе инвариантных разностных схем.

**А.А. Тальшев, Ю.И. Шокин.** Об эквивалентности разностных схем.

**Ю.И. Шокин.** К анализу диссипации и дисперсии разностных схем.

**Н.Н. Яненко, Ю.И. Шокин, Л.А. Тушева, З.И. Федотова.** Классификация разностных схем одномерной газовой динамики методов дифференциального приближения.

**Ю.М. Давыдов.** Применение метода дифференциальных приближений для исследования и построения нелинейных разностных схем.

**В.А. Коробицын, Н.Н. Яненко.** Слабая устойчивость и преобразование разностных схем.

Определяющими были статьи, в которых для теоретического обоснования метода дробных шагов привлекался метод слабой аппроксимации:

**Ю.Я. Белов, Г.В. Демидов.** Решение задачи Коши для системы уравнений типа Хопфа методом слабой аппроксимации.

**З.Г. Гегечкори, Г.В. Демидов.** О сходимости метода слабой аппроксимации.

Аналитические исследования математических моделей были представлены в работах:

**В.Е. Неуважаев, В.Д. Фролов, Н.Н. Яненко.** Уравнения движения теплопроводного газа в смешанных эйлерово-лагранжевых координатах.

**А.Ф. Сидоров.** Приближенный расчет движения слабых криволинейных ударных волн по однородному фону.

**С.К. Годунов.** Симметрическая форма уравнений магнитной гидродинамики.

**С.П. Баутин.** Использование специальных рядов для приближенного расчета движения слабых ударных волн в покоящейся неоднородной среде.

Примером новых, нетрадиционных, вычислительных методик стали оригинальные результаты специалистов из “Арзамаса”, опубликованные на страницах тематического сборника в 1972 году:

**Ю.П. Глаголева, Б.М. Жогов, Ю.Ф. Кирьянов, В.Д. Мальшаков, Л.В. Нестеренко, И.Ф. Подливаев, И.Д. Софронов.** Основы методики “Медуза” численного расчета двумерных задач газодинамики.

Продолжая краткий обзор, следует упомянуть работы, в которых получили свое развитие давние увлечения академика Н.Н. Яненко.

*Геометрия и уравнения состояния сложных сред:*

**В.М. Фомин, В.П. Шапеев, Н.Н. Яненко.** Применение метода дифференциальных связей к построению замкнутых математических моделей, описывающих одномерные динамические процессы в сплошной среде.

**В.Д. Лисейкин, Н.Н. Яненко.** Метод подвижных координат в газовой динамике.

**Е.В. Ворожцов, В.М. Фомин, Н.Н. Яненко.** Дифференциальные анализаторы ударных волн. Приложения теории.

**А.А. Талышев.** Метод дифференциальных связей и инвариантные решения строго гиперболических систем с двумя независимыми переменными.

**Г.В. Гадияк, А.Ф. Максимов, Н.Н. Яненко.** Выполнимость основных термодинамических соотношений для электронного газа в обобщенной модели Томаса—Ферми для произвольной конфигурации атомной ячейки.

**Г.В. Гадияк, С.В. Чернов, Н.Н. Яненко.** Кластерная модель для построения уравнения состояния кристаллического тела при изотропном сжатии.

*Подходы к моделированию явления турбулентности:*

**Н.Н. Яненко, В.А. Новиков.** Об одной модели жидкости с знакопеременным коэффициентом вязкости.

**Т.И. Зеленьяк, В.А. Новиков, Н.Н. Яненко.** О свойствах решения нелинейных уравнений переменного типа.

**Н.Н. Яненко, Г.П. Курбаткин, В.Н. Крупчатников, М.Ш. Эйхер.** Об одной модели циркуляции атмосферы с локальным знакопеременным коэффициентом турбулентности.

**Б.Ю. Скобелев, Н.Н. Яненко.** Устойчивость стационарных течений жидкости со знакопеременной вязкостью.

**Р.Р. Ахмеров.** Бегущие волны уравнений Бюргерса и Кортевега-де Фриза—Бюргерса со знакопеременным коэффициентом вязкости.

На страницах издания публиковались пионерные работы

*в области интервального анализа:*

**Ю.И. Шокин, З.Х. Юлдашев.** Представимость интервально-значных функций вещественными граничными функциями.

**С.А. Калмыков.** Двусторонний метод решения уравнения  $y' = f(y)$  с начальным значением в виде интервала.

*метода фиктивных областей:*

**А.Н. Коновалов.** Метод фиктивных областей повышенного порядка точности.

**Л.А. Руховец.** Метод фиктивных областей в задачах об установившихся ветровых течениях.

*методов построения подвижных сеток:*

**В.Д. Лисейкин, Н.Н. Яненко.** О выборе оптимальных разностных сеток.

**А.Ф. Сидоров, Т.И. Шабашова.** Об одном методе расчета оптимальных разностных сеток для многомерных областей.

**П.Н. Вабищевич, А.Н. Павлов.** Вычислительная генерация ортогональных сеток для расчета плоских течений в каналах.

*конечно-разностных схем повышенного порядка точности:*

**В.Б. Карамышев.** Схемы повышенного порядка точности для решения задач газовой динамики.

Возникшее в конце 70-х годов предчувствие прихода вычислительных устройств новых поколений, обеспечивающих возможность распараллеливания расчетов, потребовало осознания понятия математической технологии, изучения ее особенностей и законов, поиска путей построения новых алгоритмов и адаптации старых, хорошо зарекомендовавших себя методик, изучения и тестирования новых способов хранения данных, организации обмена данными. Результаты этих исследований также появились на страницах сборника. Среди них можно отметить ставшие классическими работы:

**Н.Н. Яненко, В.И. Карначук, А.Н. Коновалов.** Проблемы математической технологии.

**И.Д. Софронов.** Оценка параметров вычислительной машины, предназначенной для решения задач механики сплошной среды.

**Е.Г. Воронов, М.И. Каплунов, В.Г. Подвальный, С.В. Ребров, И.Д. Софронов, В.И. Филатов, Н.В. Шумилина.** Об организации и функционировании пакета программ для решения одномерных задач математической физики.

Это статья, где речь шла о легендарном пакете “Одномерный комплекс”, с помощью которого моделировались и моделируются по сей день сложнейшие взрывные процессы.

**Н.Н. Яненко, А.Н. Коновалов, А.Н. Бугров, Г.В. Шустов.** Об организации параллельных вычислений и “распараллеливании” прогонки.

**А.Н. Бугров, А.Н. Коновалов.** Об устойчивости алгоритмов распараллеливания прогонки.

**В.И. Карначук.** О разработке систем виртуальной памяти для ЭВМ БЭСМ-6.

**А.Ф. Воеводин, С.М. Шугрин.** Метод параллельной прогонки для систем разностных уравнений, определенных на графах.

**Н.Н. Яненко, Ю.И. Шокин, А.Н. Рогалев.** О принципах построения пакета интервальных операций.

**Н.Н. Яненко, А.Д. Рычков.** Модульная структура алгоритмов и программ в задачах механики сплошной среды и структура ЭВМ.

**Н.Н. Анучина, О.М. Козырев.** Обменные граничные условия в численном моделировании задач механики сплошной среды.

Выбор упомянутых здесь статей оказался очень трудной задачей и, конечно, носит субъективный характер. За пределами представленного перечня публикаций остались замечательные работы, не утратившие своей актуальности и по сей день. Трудно удержаться от рекомендации более близкого знакомства с содержанием издания, которое большинство его читателей привычно называли “ЧМСС”.

В начале 90-х годов XX столетия произошли события, серьезным образом повлиявшие на работу коллективов, связанных с именем академика Н.Н. Яненко, с его научной школой, и на весь комплекс научно-организационных мероприятий, сопровождавших деятельность этих коллективов и этими коллективами поддерживаемых.

Преобразования в политической, экономической и социальной жизни страны привели к серьезным преобразованиям в Академии наук и в ее Сибирском отделении. В частности, в 1990 году был создан Институт вычислительных технологий СО РАН, в составе которого продолжили свою научную работу ученики, сотрудники и последователи Н.Н. Яненко. Тематика этого молодого института изначально была ориентирована на продолжение исследований в области численного моделирования механики сплошных

сред с учетом новых тенденций становления наук об информационных системах, перехода на использование высокопроизводительных вычислительных устройств, развития прикладных телекоммуникационных сетей. Создание Института позволило объединить усилия математиков и специалистов по эксплуатации вычислительной техники, поддерживать эти усилия мощными вычислительными ресурсами и направить их на решение задач теории и практики вычислительного эксперимента в механике сплошной среды, физики и охраны окружающей среды.

Самое серьезное внимание руководство ИВТ СО РАН уделило вопросам научных публикаций — и традиционного, “бумажного”, формата, и новых, электронных, средств хранения и распространения знаний. Для обсуждения этих проблем было организовано Международное совещание по электронным публикациям, проводившееся в Новосибирске ежегодно с 1996 по 2004 год, а уже в 1992 году Институт вычислительных технологий СО РАН приступил к изданию сборника “Вычислительные технологии”, первый выпуск которого был посвящен наиболее важным результатам сотрудников института, представленным на первой отчетной сессии.

Материалы этого выпуска были объединены общей идеологией разработки информационно-вычислительных технологий на основе методов математического моделирования. Они охватывали весь спектр возникающих при этом проблем — от экспериментального анализа явления, математической модели, численного алгоритма до программно-системных средств сопровождения.

За три года своего существования сборник стал популярным периодическим изданием, в числе авторов которого были ученые и специалисты из ведущих академических институтов страны, ближнего и дальнего зарубежья, сотрудники авторитетных вузов и федеральных исследовательских центров.

Последний, 13-й, выпуск вышел из печати в 1995 году и был посвящен главным образом материалам Межреспубликанского совещания по интервальной математике, которое проводилось Институтом вычислительных технологий СО РАН 29–30 сентября



Обложка первого выпуска сборника “Вычислительные технологии”



1994 года в Новосибирске. Тематика статей была сосредоточена на самых перспективных направлениях интервального анализа и его приложений: решение задач линейной алгебры, дифференциальных и интегральных уравнений, задач оптимизации, применение к теории управления в условиях неопределенности. В сборник были включены частично и материалы Межреспубликанской школы-семинара по численным методам механики вязкой жидкости.

С 1996 года ведет свою историю журнал “Вычислительные технологии”, унаследовавший добрые традиции перечисленных выше изданий, сохранивший присущие им требовательность к качеству публикуемых материалов, широту тематики, уважительную и тщательную работу с авторами.

Индивидуальность каждого из обсуждавшихся здесь изданий определялась индивидуальностью личностей, их создававших. Они наделили свои творения частичками своего интеллекта, своего темперамента, своих пристрастий и увлечений. Совместная работа, общие проекты, проблемы, трудности, решения и успехи переплели судьбы этих людей. Так рождался коллектив, так создавалась Школа. Для того чтобы лучше понять ее историю, разобраться в сегодняшних делах, подумать о перспективах, для того, чтобы за статьями, опубликованными на страницах бюллетеня, сборника, журнала увидеть авторов, нужно внимательно взглянуть в историю жизни и работы Николая Николаевича Яненко — ученого, учителя, лидера, творца.

Николай Николаевич Яненко родился 22 мая 1921 года в городе Каинске (ныне г. Куйбышев Новосибирской области). В 1923 году семья переехала в Новониколаевск (так в те годы именовали нынешний Новосибирск). В 1939 году Николай Николаевич поступил в Томский государственный университет, который закончил летом 1942 года с отличием, получив специальность “учитель математики”. По распределению он должен был уехать в село Северное, но его учительская работа там продолжалась только два дня: он был призван в армию и после недолгого обучения, уже в ноябре 42-го, оказался на Ленинградском фронте. Демобилизовался Николай Николаевич в 1946 году, став первым послевоенным аспирантом профессора П.К. Рашевского на математическом факультете МГУ. С профессором он познакомился еще в Томске, активно переписывался с ним в конце войны, задумываясь о мирной жизни и возвращении в математику.

Путь Н.Н. Яненко-математика начался с одного из самых абстрактных разделов науки — дифференциальной топологии. Темой исследований Н.Н. Яненко стала классическая проблема дифференциальной геометрии — проблема изгибаемости поверхностей. Ее основные положения — признаки изгибаемости поверхностей в  $n$ -мерном евклидовом пространстве — были сформулированы Э. Картаном, метод которого, сложный и труднодоступный, в деталях был знаком лишь немногим специалистам-геометрам. Николай Николаевич овладел им в совершенстве и показал, что наличие бесконечно малого изгибаемости является проективно-инвариантной характеристикой непрерывно изгибаемых поверхностей и составляет естественную грань, отделяющую проективные признаки изгибаемости от непроективных. Тем самым между бесконечно малыми изгибаниями и конечными изгибаниями была установлена определенная связь. Результаты исследований Николая Николаевича, изложенные в его кандидатской (1949 год) и докторской (1954 год) диссертациях, позволили дать законченную теорию признаков изгибаемости, что после основополагающих работ Картана, Томаса и Аллендорфера по сути завершило развитие этого направления дифференциальной геометрии.

Геометрию Н.Н. Яненко любил всегда. В последующих работах у Николая Николаевича заметно влияние геометрии, будь то исследования по дифференциальным уравнениям в частных производных или работы по теории разностных схем. Он часто стремился геометрически пояснить те или иные рассуждения. В его курсе лекций для ФМШ и в курсе численного анализа также много внимания уделено геометрической трактовке и пояснениям соответствующих определений и теорем.

В 1948 году в жизни Николая Николаевича произошло событие, отразившееся на всей его дальнейшей научной биографии. Он начал работать в группе академика А.Н. Тихонова над новыми прикладными задачами. Это была эпоха решения ядерных и ракетных проблем страны — легендарные времена становления нашей современной прикладной и вычислительной математики. Все области науки прямо или косвенно получили новые идеи, методы, пути развития.

Ряд идей и методов из геометрии пригодился и в приложениях. Как было отмечено выше, исследования Николая Николаевича по геометрии были связаны с изучением систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих свойства геометрических объектов. Изучением нелинейных дифференциальных уравнений и их решений Николай Николаевич продолжал заниматься и далее, однако новой областью приложений стали механика и физика. Это один из редких случаев, когда абстрактный математик, геометр смог быстро и высокопрофессионально войти в неизвестные ему разделы науки и добиться значительных результатов. Одним из общих методов выделения частных решений систем дифференциальных уравнений является метод дифференциальных связей, идею которого высказал Н.Н. Яненко на IV Всесоюзном математическом съезде. С помощью метода дифференциальных связей удалось решить ряд одномерных и многомерных задач механики сплошной среды. В области дифференциальных уравнений Николаем Николаевичем опубликовано свыше 50 работ, в том числе четыре монографии.



Н.Н. Яненко (стоит третий слева) среди аспирантов математического факультета Московского государственного университета (1947–1948 гг.)

Особо нужно остановиться на двух монографиях, написанных Н.Н. Яненко совместно с Б.Л. Рождественским, — “Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике”, вышедших из печати в 1968 и 1978 годах. В этих книгах подытожены многолетние исследования советских и зарубежных ученых в теории систем квазилинейных дифференциальных уравнений гиперболического типа, приведены результаты изучения как классических (непрерывных), так и обобщенных (разрывных) решений систем дифференциальных уравнений, в том числе газовой динамики. Эти монографии получили признание мировой науки и стали настольными книгами у специалистов в области прикладной математики и механики.

Центральное место в научной деятельности Н.Н. Яненко занимали исследования по численным методам математической физики, начатые им в 1949 году. В этой области им было опубликовано свыше 150 работ. Главным достижением Н.Н. Яненко в вычислительной математике считается создание метода дробных шагов. Метод дробных шагов — это метод построения экономичных (в смысле числа операций) конечно-разностных схем для решения дифференциальных уравнений. В конце 50-х годов возникла острая необходимость в создании таких методов для решения сложных многомерных систем уравнений в частных производных.

При увеличении размерности задачи число операций для получения численного решения растет как вследствие роста числа точек, так и вследствие логических трудностей составления программ расчета. Для системы дифференциальных уравнений в многомерном случае обычные разностные схемы становятся неэффективными. Они требуют либо слишком мелкого шага по времени, либо очень большого числа операций для перехода с одного слоя на другой. Решение же проблемы было найдено в различных способах редукций сложной задачи к набору более простых, а на первом этапе исследования — заменой многомерной дифференциальной задачи последовательностью одномерных за-



Н.Н. Яненко (стоит третий слева) — старший научный сотрудник отдела прикладной математики Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР

дач. Первый десятилетний цикл работ, связанный с предложенной Николаем Николаевичем редукцией сложных задач к набору более простых, был обобщен им в монографии “Метод дробных шагов”, мгновенно переведенной на английский, французский и немецкий языки, ставшей настольной книгой вычислителей у нас в стране, определившей многие направления исследований в последующие годы. И сейчас, по прошествии почти сорока лет, эта монография имеет высокий индекс цитирования. Впоследствии идеи и методы расщепления для различных задач естествознания разрабатывались и применялись многими вычислителями во всем мире.

Следует особо отметить вклад Н.Н. Яненко в развитие теории разностных схем. Несомненно, к важнейшим достижениям относится теоретическое обоснование метода расщепления, который удалось представить как слабую аппроксимацию исходного дифференциального уравнения некоторым другим, более простым. Впервые метод слабой аппроксимации был применен Н.Н. Яненко для исследования линейной системы уравнений в частных производных.

Решение задач гидроаэродинамики в сложных областях потребовало развития новых методов построения расчетных сеток. Дополняя исходную систему дифференциальных уравнений уравнениями для управления сеткой, Н.Н. Яненко рассматривал задачу построения разностной сетки как задачу построения дифференциального отображения, соответствующего состоянию всего потока в целом, что позволило сформулировать понятие информационной среды как совокупности исходных дифференциальных уравнений, описывающих исследуемый процесс, и уравнений для управления сеткой, автоматически адаптирующейся к потоку, что позволило на порядок повысить точность расчетов.

В теорию сплайнов Н.Н. Яненко ввел новое определение сплайна как решения специальных классов вырождающихся дифференциальных уравнений. На этой основе были



Н.Н. Яненко ведет семинар отдела численных методов в механике сплошной среды  
в ВЦ СО АН СССР

разработаны алгоритмы интерполирования и сглаживания сплайнами с применением метода дробных шагов.

Под руководством Н.Н. Яненко были начаты систематические исследования и по моделированию задач аэродинамики в приближении уравнений газовой динамики, полных и упрощенных уравнений Навье—Стокса сжимаемого теплопроводного газа.

Н.Н. Яненко был активным сторонником применения неявных разностных схем в различных задачах математической физики, поддерживал и развивал исследования в области построения экономичных схем в задачах теории упругости и фильтрации, для которых на основе метода расщепления были построены эффективные численные алгоритмы решения практически важных задач. В работах Г.И. Марчука и Н.Н. Яненко предложен класс схем расщепления для численного решения многомерного кинетического интегродифференциального уравнения в односкоростном приближении.

Н.Н. Яненко считал, что надо стремиться к получению алгоритмов с заданными свойствами, для чего необходимы методы качественного исследования разностных схем. Им была высказана идея использования дифференциального приближения разностной схемы для количественного и качественного анализа свойств разностных схем. Эта идея затем реализовалась в методе дифференциального приближения (МДП), суть которого состоит в замене исследования свойств разностных схем исследованием некоторых дифференциальных уравнений (называемых дифференциальным приближением), получаемых специальным образом из разностной схемы и занимающих промежуточное положение между исходными дифференциальными и разностными уравнениями. Метод дифференциального приближения позволяет исследовать свойства устойчивости, дисперсии, диссипации, консервативности и инвариантности разностных схем, а также строить разностные схемы с заранее заданными свойствами.

Проблему разработки экономичных численных методов решения нелинейных уравнений механики сплошной среды он рассматривал в комплексе с проблемой эффективного использования получаемых на ЭВМ численных результатов. В частности, при решении задач газовой динамики с применением конечно-разностных схем сквозного счета он предложил определять положение ударных волн в размазанных профилях с помощью специальных алгоритмов, названных им дифференциальными анализаторами.

Размышляя над особенностями метода типа “частиц-в-ячейках”, Н.Н. Яненко показал, что этот метод является специальной модификацией метода расщепления. Отсюда исходят два новых направления: инвариантная (групповая) теория разностных схем; теория уравнений со знакопеременной вязкостью. Дискуссия по моделированию турбулентности позволила Н.Н. Яненко сформулировать новую математическую проблему: изучение свойств решений специальных уравнений со знакопеременной вязкостью.

Исследования разностных схем, аппроксимирующих различные классы уравнений математической физики, приводят Н.Н. Яненко к расширению понятия схемы. Впервые он начинает рассматривать разностную схему как самостоятельный объект исследования, как математическую модель, адекватную той или иной физической модели. Это фундаментальное положение рождено благодаря глубокому пониманию основ дифференциального и интегрального исчисления, базовых принципов механики сплошных сред.

Н.Н. Яненко — один из создателей новой научной дисциплины, названной им *математической технологией*. Он указывал, что развитие этого направления науки связано с тремя факторами: системами автоматизированного проектирования инженерных конструкций, большими задачами и с ЭВМ параллельного действия. Введение техно-

The image shows a handwritten manuscript page with several mathematical derivations and diagrams. At the top, there are three circled terms:  $A_j c_{j-1}^{n+\frac{1}{2}}$ ,  $B_j c_j^{n+\frac{1}{2}}$ , and  $C_j c_{j+1}^{n+\frac{1}{2}}$ . Below them is a boxed equation:  $c_{j-1} = X_j c_{j+1} + Y_j$ . To the right, there are conditions:  $A_j > 0, B_j > 0, C_j > 0$  and  $X_{j-1}, Y_{j-1}$ . A diagram shows a sequence of points  $j-1, j, j+1$  with arrows indicating relationships. Below this, there is a boxed inequality:  $\frac{A+C}{2} > B+\epsilon$ . Further down, there is a diagram with a horizontal axis and a vertical axis, with a point labeled  $c_{j-1}^{n+\frac{1}{2}}$ . To the right of this diagram is another boxed equation:  $c_{j-1} = X_j c_{j+1} + Y_j$ . Below this, there are several lines of equations involving  $A_j, B_j, C_j$  and  $c_{j-1}, c_j, c_{j+1}$ . At the bottom, there is a boxed equation:  $A_j^{n+\frac{1}{2},0} = A_j^{n+\frac{1}{2}}$  and a boxed inequality:  $\frac{1}{8} < \epsilon$ .

Фрагмент рукописи академика Н.Н. Яненко

логической цепочки математического моделирования позволило взглянуть на проблему по-новому. Включив в цепочку структуру ЭВМ, Яненко проанализировал ее влияние и пришел к идее создания специализированных вычислительных устройств, ориентированных на решение определенного класса задач. Архитектура ЭВМ и численные алгоритмы становятся в таком случае взаимосогласованными. Идеи эти, к сожалению, реализованы только в зарубежных проектах.

Значительное внимание Н.Н. Яненко уделял тематике пакетов прикладных программ. Со своими коллегами он разработал основные принципы модульного анализа задач математической физики и механики сплошной среды, дал первые определения модуля и пакета прикладных программ, провел их классификацию. Он показал наличие тесной взаимосвязи структуры алгоритмов решения задач механики сплошной среды и структуры вычислительной машины. Одним из первых Н.Н. Яненко понял огромную роль распараллеливания вычислений для достижения резкого увеличения производительности ЭВМ.

Н.Н. Яненко был одним из инициаторов исследований по интервальной математике в нашей стране. Это интересная и своеобразная область вычислительной и прикладной математики. Первоначально аппарат интервального анализа использовался как средство контроля ошибок округления на ЭВМ при решении ряда прикладных задач, тре-

бующих высокой точности (таких как расчет траекторий), а затем развился в самостоятельную ветвь прикладной математики. В этом направлении Николаю Николаевичу принадлежит только одна публикация, однако во многих своих лекциях, докладах, статьях он упоминал и пропагандировал интервальный анализ, и своим вниманием инициировал исследования в этой области.

Важно сказать и о педагогической работе Н.Н. Яненко по подготовке новых поколений исследователей. Это не только профессиональная работа в Московском, Уральском и Новосибирском университетах, но и инициирование новых спецкурсов, семинаров, специальностей. Среди его прямых учеников около 20 докторов и свыше 50 кандидатов наук. Широкая эрудиция и интеллигентность позволили Николаю Николаевичу ненавязчиво вовлекать молодежь в круг своих интересов, развивая ее инициативу, и личным примером своей деятельности воспитывать новые поколения научных сотрудников.

Влияние Н.Н. Яненко на развитие исследований по математическому моделированию в различных научных центрах страны оказалось существенным благодаря знаменитому “Кольцу семинаров”, организованному им и притягивающему исследователей разнообразием рассматриваемых вопросов, нетрадиционностью подходов, доброжелательностью и равноправием всех участников. В 1964 году Н.Н. Яненко провел первый семинар в НГУ, затем заседания стали постоянными. В те годы семинар носил название “Численные методы механики сплошной среды”. На его заседания Николай Николаевич приглашал всех: студентов, аспирантов, сотрудников кафедры и институтов. Часто выступали приезжие. Бывало по два-три докладчика, случалось по несколько заседаний в неделю, так как не успевали прослушать всех желающих. Диапазон докладов славился широтой. Отличительной чертой этого семинара было то, что здесь давали возможность высказаться всем, независимо от того, сторонником какой школы, какого направления являлся выступающий. Семинар продолжает работать в Институте вычислительных технологий СО РАН. Состоялось уже более тысячи его заседаний.



Н.Н. Яненко (второй слева) с зарубежными участниками международной конференции

На основе этого семинара возникла упомянутая в начале статьи совокупность всесоюзных, а через годы — и международных школ, конференций и совещаний: “Численные методы механики вязкой жидкости”, “Модели механики сплошной среды”, “Численные методы в задачах фильтрации жидкостей”, “Комплексы программ для решения задач математической физики” и ряд других.

Следует заметить, что география мест проведения “яненковских” семинаров была чрезвычайно широка и охватывала в советские времена всю страну — с севера на юг и с запада на восток. В последние годы эти мероприятия, центральное из которых называется “Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании”, проводятся совместно с Казахским Национальным университетом им. Аль-Фараби в различных городах Казахстана. В научных центрах СО РАН под руководством ближайших соратников Николая Николаевича регулярно проводятся Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, конференции “Распределенные информационно-вычислительные ресурсы”, “Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф” и др.

На основе заложенной Николаем Николаевичем традиции международного сотрудничества Институтом вычислительных технологий создана Российско-германская школа по параллельным вычислениям на высокопроизводительных вычислительных системах. В этом году школа будет проведена в четвертый раз, как всегда, в ее работе в качестве лекторов и преподавателей примут участие не только российские ученые, но и ведущие специалисты Центра высокопроизводительных вычислений (Штутгарт, Германия). Базой для этой Школы стал созданный в ИВТ СО РАН Российско-германский центр высокопроизводительных вычислений, в сферу деятельности которого вовлечены не только российские молодые ученые и специалисты, но и их коллеги из Казахстана.

Таким образом, можно утверждать, что более двух десятилетий продолжает свою работу и развивается созданная Николаем Николаевичем Яненко система взаимодействия ученых — система, не знающая государственных границ, различий языков, временных поясов. В начале этого года состоялось очередное российско-казахское рабочее совещание в Новосибирске, за которым последует Школа по параллельным вычислениям и ряд мероприятий в Барнауле, в том числе — конференции “Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф”, Совещание разработчиков систем прогнозирования характеристик цунами на дальневосточном побережье России и Совещание исполнителей междисциплинарной программы СО РАН “Разработка научных основ распределенной информационно-аналитической системы на основе ГИС и Веб-технологий для междисциплинарных исследований”.

Впереди новые результаты, новые статьи, конференции, встречи...

Авторы выражают благодарность профессору Г.Г. Хакимзянову за помощь при подготовке материалов для данной статьи.

*Поступила в редакцию 23 мая 2007 г.*