



ПАМЯТИ СЕРГЕЯ КОНСТАНТИНОВИЧА ГОДУНОВА (17.07.1929–15.07.2023)

15 июля 2023 г. ушел из жизни накануне своего 94-летия Сергей Константинович Годунов, всемирно известный ученый, один из основоположников вычислительной математики, внесший заметный вклад в теорию дифференциальных уравнений, механику сплошных сред, линейную алгебру и их приложения. Его новаторские работы во многом определили характер современного численного анализа и наиболее перспективные направления его развития. Особенностью научного подхода С. К. Годунова является органичное сочетание глубоких знаний математических и численных методов с умением эффективно решать практические задачи.

В 1951–1953 гг. С. К. Годунов работал в Математическом институте им. В. А. Стеклова АН СССР. Затем он работает в Институте прикладной математики (ныне ИПМ им. М. В. Келдыша РАН), руководя в 1966–1969 гг. отделом этого института. Одновременно в 1952–1969 гг. он преподает на кафедре И. Г. Петровского в МГУ, сначала ассистентом, затем доцентом и профессором. В 1969 г. С. К. Годунов переезжает в Новосибирский Академгородок. Здесь он заведует лабораторией в ВЦ Сибирского отделения АН СССР, а затем с 1980 г. и до конца жизни работает в Институте математики (ныне Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН), занимая должности зав. отделом, зам. директора, и.о. директора (1981–1986).

Основные научные интересы С. К. Годунова — это корректные постановки задач для дифференциальных уравнений, теория разностных схем, вычислительная линейная алгебра, методы решения задач гидродинамики, модели вязкоупругих деформаций металлов в задачах высокоскоростного соударения, методы гарантированной точности для компьютерных расчетов.

Общей и типичной чертой многих нелинейных процессов является наличие особенностей. Например, в газодинамических явлениях, описываемых нелинейными гиперболическими уравнениями, возмущения распространяются по характеристикам с конечной скоростью. Однако, в отличие от линейного случая, они могут появляться самопроизвольно, вызывая образование ударных волн. До сих пор задача численного расчета разрывных решений уравнений газовой динамики остается сложной математической проблемой. Серьезной трудностью в развитии численных методов является отсутствие теоретических представлений о “гладкости” обобщенных решений задач газовой динамики [1960]. Это самое слабое место всех вычислительных задач, так как даже самые простые одномерные задачи часто чрезвычайно сложны для компьютерной реализации с математической точки зрения [1997]. Ясно только, что рациональная организация методов расчета разрывных решений задач газовой динамики (представляющих практический интерес) не может развиваться без учета классов корректности этих задач.

Иными словами, трудности численного решения этого класса задач связаны с отсутствием четких теоретических представлений о решениях квазилинейных гиперболических уравнений, в частности в момент появления их особенностей. По этой причине ценность методов, основанных на формальных подходах к задачам численного исследования, невелика. Отсюда также видно, что важна роль теоретических

исследований, способных уменьшить произвол в выборе метода численного исследования. Успешное использование информации о корректности задач для улучшения качественных характеристик численного метода является важным для вычислительной практики.

В 1954 г. С. К. Годунов предложил схему численного расчета задач одномерной газовой динамики с разрывными решениями — ударными волнами. Она была опубликована в статье [1959-а] и вскоре стала всемирно известной под названием схемы Годунова. Эта схема предназначена для расчета разрывных решений задач газодинамики, но сейчас имеет многочисленные обобщения. В ее основе лежит требование сохранения монотонности численного решения при переходе с каждого расчетного слоя по времени на следующий. Схема реализована С. К. Годуновым в терминах точного решения задачи Римана о распаде разрыва на каждой границе между соседними расчетными ячейками. Эта работа и ее развитие [1959-б], см. комментарии [1997, 2011], были настолько прорывными, что оказали существенное влияние на последующее развитие численных методов, рассматривая их на более высоком теоретическом уровне. В упомянутых работах представлены новые математические идеи, которые дают гораздо более глубокое понимание, чем очевидные факты, и составляют основу современных принципов построения численных методов. В качестве примеров можно привести известные методы коррекции потоков Дж. Бориса и Д. Бука и невозрастания полной вариации А. Хартена, которые естественно называть методами годуновского типа, поскольку они опираются на упомянутую выше идею сохранения монотонности. Сейчас метод Годунова продолжает триумфальное шествие по всему миру с многочисленными приложениями. Метод является инструментом для численного исследования задач и важным элементом математического образования специалистов.

Исследование С. К. Годуновым двумерных нестационарных задач газодинамики и стационарных задач трансзвукового обтекания легло в основу метода установления по времени [1961-а]. Эта техника общепризнана и широко используется во всем мире. Многолетний опыт применения схемы Годунова в ее оригинальной форме обобщен в монографии [1976], написанной Сергеем Константиновичем вместе с коллегами.

Пионерские исследования Годунова легли в основу систематического изучения систем квазилинейных уравнений, которые могут быть записаны в виде законов сохранения. Им выполнены оригинальные исследования решений систем квазилинейных гиперболических уравнений. Он обнаружил новый эффект сильной зависимости решений от малых диссипативных членов, введенных в гиперболическую систему. Эти результаты стимулировали исследования нелинейной теории упругости [1972, 1974].

С. К. Годунов сформулировал важный класс термодинамически совместимых систем, содержащий систему уравнений газодинамики, обобщил понятие энтропии и закон возрастания энтропии, нашел новые термодинамические соотношения (тождества), получившие название расширенной термодинамики. Эти исследования легли в основу описания структуры законов сохранения и систематизации уравнений механики сплошных сред. Так появилось фундаментальное понятие «термодинамически совместимая гиперболическая система законов сохранения», описывающая процесс движения в сплошной среде и ее термодинамические тождества.

Эти исследования привели к новому математическому подходу [1978, 1998], позволяющему сформулировать в изящном унифицированном виде принципы математического моделирования. Суть этого подхода заключается в переформулировке задачи и приведении ее к специальной консервативной (дивергентной) форме, более удобной как для теоретического, так и для численного исследования. Следствием такой формы уравнений является то, что уравнения могут быть представлены в симметричной t -гиперболической форме по Фридрихсу [2008, 2010, 2012]. Ее простейший вариант впервые был рассмотрен в [1961-с]. С. К. Годунов связал свойство гиперболичности с понятием корректности задачи и тем самым заложил основы современной теории численных методов для нелинейных уравнений гидродинамики. Эта взаимосвязь оказалась необходимой при построении эффективных вычислительных методов. Тот факт, что система уравнений может быть представлена в двух формах, консервативной и симметричной t -гиперболической, позволяет дискретизировать исследуемую задачу в два этапа. В силу гиперболичности на первом этапе формируется предиктор для расчета потоков в законах сохранения. На втором этапе в основу построения корректора положена консервативная форма уравнений. Этот шаг коррекции является ключевым, так как он учитывает некоторые дополнительные законы сохранения и закон возрастания энтропии.

Теория термодинамически совместимых систем позволяет сформулировать новые, математически корректные уравнения механики сплошных сред в виде законов сохранения. К таким системам относятся многие классические уравнения математической физики и механики сплошных сред: уравнения газовой динамики и гидродинамики, магнитной и релятивистской гидродинамики, теории упругости, уравнения Максвелла и др. (см. также [2008, 2010, 2012]).

С. К. Годунов внес значительный вклад в теорию разностных схем. Монография, написанная им совместно с В. С. Рябенским [1962], явилась первой на русском языке книгой, обобщающей создание, развитие и реализацию численных методов. Эта работа интенсивно проводилась в предшествующее

десятилетие в специально созданных научных институтах и организациях для срочного решения задач, необходимых в актуальных, как правило, закрытых приложениях. Впоследствии монография была переработана авторами в учебное пособие [1973], переизданное в 1978 г.

Уже в 1950-е гг. С. К. Годунов не ограничивается исследованиями в области вычислительных проблем газодинамики и создает метод ортогональной прогонки, успешно применяемый для расчета ядерных реакторов [1964].

С. К. Годунов ввел в вычислительную линейную алгебру новые фундаментальные понятия, такие как спектральный портрет матрицы, критерий качества дихотомии и критерий разбиения спектра, гарантированная точность компьютерных вычислений [1992, 1997, 2002].

Его научная деятельность и многообразный педагогический опыт наряду с идеями нового качества образования оказали значительное влияние на развитие науки. С. К. Годунов имеет более 50 лет общего педагогического стажа, сначала в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова, а затем в Новосибирском государственном университете, где он стал профессором кафедры дифференциальных уравнений, а с 1977 г. много лет заведовал этой кафедрой. На механико-математическом и физическом факультетах НГУ он читал курсы лекций “Механика сплошных сред”, “Уравнения математической физики”, “Приближенные вычисления”, “Дифференциальные уравнения”, “Численные методы линейной алгебры”, “Современные аспекты линейной алгебры”, “Теория гиперболических уравнений”, “Уравнения нелинейной теории упругости”.

С. К. Годунов известен как превосходный педагог; его подробные и всеобъемлющие лекции ясны, логичны и просты для понимания. Как преподаватель, С. К. Годунов всегда был неумолимым реформатором. В основе его уникального научно-педагогического стиля лежат твердость и глубина понимания важности фундаментальной математики и того, как она определяет правильность концепций прикладной науки. Он обладал выдающейся способностью находить объединяющие понятия в математике и сосредоточиваться на наиболее важных и неотложных научных проблемах.

С. К. Годунов — автор более 300 научных работ, в том числе 17 монографий, некоторые из которых опубликованы на иностранных языках.

Участие С. К. Годунова в выполнении специальных государственных заданий, связанных с созданием новой военной техники (атомный проект и другие секретные работы) отмечено наградами: он лауреат Ленинской премии (1959), награжден орденами Трудового Красного Знамени (1956, 1975), орденом Почета (1954, 1981), орденом Александра Невского (2023), награжден академическими премиями им. А. Н. Крылова за научные работы по сварке взрывом (1972), им. М. А. Лаврентьева за книгу “Элементы механики сплошных сред” (1993), премией Фонда им. М. А. Лаврентьева “За выдающийся вклад в фундаментальную математику и ее приложения”, Золотой медалью им. Леонарда Эйлера (2022), премией Р. Агарвала за значительный научный и инженерный вклад в вычислительную гидродинамику (2020). С 1997 г. С. К. Годунов — почетный профессор Мичиганского университета в США.

Достижения Годунова широко известны в мировой науке. Многие современные программные продукты во всем мире основаны на использовании разностной схемы Годунова и ее модификаций. Некоторым из его методов были посвящены следующие всемирные конференции: “Метод Годунова для газовой динамики: современные приложения и будущие разработки” (1–3 мая 1997 г., Анн-Арбор, Мичиган, США), “Методы Годунова: теория и приложения” (12–22 октября 1999 г., Оксфорд, Великобритания), “Математика и ее приложения”, в честь 90-летия С. К. Годунова (4–10 августа 2019 г., Новосибирск, Россия). Ниже приводится список избранных трудов С. К. Годунова, упоминаемых в тексте. Полный список работ, опубликованных до 2019 г., представлен в библиографическом указателе [2019].

Сергей Константинович в течение нескольких десятилетий являлся активным и ответственным членом редакционной коллегии нашего журнала.

Члены редколлегии Журнала вычислительной математики и математической физики, сотрудники редакции и многочисленные авторы глубоко скорбят по случаю кончины Сергея Константиновича и будут помнить его светлый образ и сохранять его научное наследие.

СПИСОК ИЗБРАННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ С. К. ГОДУНОВА (В ХРОНОЛОГИЧЕСКОМ ПОРЯДКЕ)

1. Разностный метод численного расчета разрывных решений уравнений гидродинамики // Математический сборник. 1959. Т. 47 (89). № 3. С. 271–306.
2. Термодинамика газов и дифференциальные уравнения // Успехи матем. наук. 1959. Т. 14. № 5 (89). С. 97–116.

3. О понятии обобщенного решения // Докл. АН СССР. 1960. Т. 134. № 6. С. 1279–1282.
4. Разностная схема для двумерных нестационарных задач газовой динамики и расчет обтекания с отошедшей ударной волной // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1961. Т. 1. № 6. С. 1020–1050. Совм. с А. В. Забродиным, Г. П. Прокоповым.
5. Интересный класс квазилинейных систем // Докл. АН СССР. 1961. Т. 139. № 3. С. 521–523.
6. Введение в теорию разностных схем. М.: Физматгиз, 1962. 340 с. Совм. с В. С. Рябенским.
7. Метод сферических гармоник в задаче о критических параметрах // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1964. Т. 4. № 3. С. 473–484. Совм. с И. А. Адамской.
8. О дискретных моделях кинетического уравнения Больцмана // Успехи матем. наук. 1971. Т. 26. № 3 (159). Совм. с У. М. Султангазиным.
9. О диссипативности граничных условий В. С. Владимирова для симметрической системы метода сферических гармоник // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1971. Т. 11. № 3. Совм. с У. М. Султангазиным.
10. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1971. 416 с. То же на фр., исп., польск. языках.
11. Нестационарные уравнения нелинейной теории упругости в эйлеровых координатах // Прикл. механика и техн. физика. 1972. № 6. С. 124–144. Совм. с Е. И. Роменским.
12. Разностные схемы: введение в теорию. М.: Наука, 1973. 400 с. Совм. с В. С. Рябенским.
13. Уравнение состояния упругой энергии металлов при нешаровом тензоре деформации // Прикл. механика и техн. физика. 1974. № 2. С. 123. Совм. с Н. С. Козыным, Е. И. Роменским.
14. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. 400 с. Совм. с А. В. Забродиным, М. Я. Ивановым, А. Н. Крайко, Г. П. Прокоповым.
15. Элементы механики сплошной среды. М.: Наука, 1978. 303 с.
16. Гарантированная точность решения систем линейных уравнений в евклидовых пространствах. Новосибирск: Наука, 1988. 456 с. Совм. с А. Г. Антоновым, О. П. Кирилюком, В. И. Костиным.
17. Квазиизометрическая параметризация криволинейного четырехугольника и метрика постоянной кривизны // Siberian Advances in Mathematics. 1995. Т. 5. № 2. С. 1–20. Совм. с В. М. Гордиенко, Г. А. Чумаковым.
18. Современные аспекты линейной алгебры. Новосибирск: Науч. книга, 1997. 390 с.
19. Воспоминания о разностных схемах: Докл. на Международном симпозиуме «Метод Годунова в газовой динамике». Мичиган. ун-т (США). Май, 1997. Новосибирск: Науч. книга, 1997. 40 с.
20. Элементы механики сплошных сред и законы сохранения. Новосибирск: Науч. книга, 1998. 267 с. Совм. с Е. И. Роменским.
21. Лекции по современным проблемам алгебры. Новосибирск: Науч. книга, 2002.
22. Симметрические гиперболические уравнения нелинейной теории упругости // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2008. Т. 48. № 6. С. 1034–1055. Совм. с И. М. Пешковым.
23. Термодинамически согласованная нелинейная модель упругопластической среды Максвелла // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2010. Т. 50. № 8. С. 1481–1498. Совм. с И. М. Пешковым.
24. Экспериментальный анализ сходимости численного решения к обобщенному решению в газовой динамике // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2011. Т. 51. № 1. Совм. с Ю. Д. Манузиной, М. А. Назарьевой.
25. Термодинамическая формализация уравнений гидродинамики заряженного диэлектрика в электромагнитном поле // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2021. Т. 52. № 5. С. 916–929.
26. Моделирование ударно-волновых процессов в упругопластических материалах на различных (атомный, мезо и термодинамический) структурных уровнях. М., Ижевск: Ижевский инст. компьют. исслед., 2014. 295 с. Совм. с С. П. Киселевым, И. М. Куликовым, В. И. Мали.
27. Экспериментальные исследования разностных моделей газовой динамики с ударными волнами // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2018. Т. 58. № 8. С. 5–19. Совм. с Д. В. Ключинским, С. В. Фортовой, В. В. Шепелевым.
28. Годунов Сергей Константинович: Библиографический указатель. Сост. М. Л. Коноводченко, ред. В. Н. Бельх. 3-е изд. Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 2019.
29. Исследование энтропийных свойств линеаризованной редакции метода Годунова // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2020. Т. 60. № 4. С. 639–651. Совм. с В. В. Денисенко, Д. В. Ключинским, С. В. Фортовой, В. В. Шепелевым.
30. Численный метод квазиизометрической параметризации для двумерных криволинейных областей // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2020. Т. 60. № 4. С. 578–589. Совм. с В. Т. Жуковым, О. Б. Феодоритовой.