



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Валентин Федорович Куропатенко

18.12.1933 – 13.10.2017

Д.А. Варфоломеев, И.Р. Макеева, М.Н. Якимова

Научная сессия НИЯУ МИФИ

по направлению «Инновационные ядерные технологии»

31.01 – 03.02 2024 г., Снежинск



Крупный учёный атомной отрасли, специалист в области высокоточных моделей поведения сплошных сред и методов математического моделирования динамических процессов в них.

Научная и трудовая деятельность В.Ф. Куропатенко (1956-2017) была посвящена разработке математических и компьютерных моделей и их применению для решения комплексных задач, связанных с исследованием поведения различных сред в условиях динамических процессов.



- Кандидат физико-математических наук **(1964)**
- Доктор физико-математических наук **(1977)**
- Профессор **(1983)**
- Лауреат Государственной премии СССР **(1968)**

- Заслуженный деятель науки Российской Федерации **(2002)**
- Член Национального Комитета по теоретической и прикладной механике **(2004)**
- Член Экспертного совета РФФИ
- Эксперт РФ по математике, механике, информатике
- Действительный член Международной Академии информатизации **(1993)** и Петровской академии наук и искусств **(1995)**,
- Член КПСС с **1964** года
- Депутат Снежинского городского Совета народных депутатов **(1995–2004)**
- Почётный гражданин г. Снежинска **(2013)**



1951 – студент математико-механического факультета
Ленинградского государственного университета

1956 – старший лаборант сектора 3 НИИ-1011

1957 – инженер сектора 3 ВНИИП

1960 – старший инженер сектора 3 ВНИИП

1962 – руководитель группы отдела 31 сектора 3 ВНИИП

1965 – начальник отдела 36 отделения 3 ВНИИП

1989 – начальник математического отделения НИО-3 ВНИИТФ

1996 – главный научный сотрудник НТО-1 ВНИИТФ

Награды



- Орден «Трудового Красного знамени» (**1984**)
- Медаль «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина» (**1970**)
- Медаль «Ветеран труда» (**1989**)
- Юбилейная медаль «50 лет атомной энергетики СССР» (**1998**)
- Медаль «Ветеран атомной энергетики и промышленности» (**1998**)
- Медаль федерации космонавтики «Академик Макеев» (**2003**)
- Знак «Академик Курчатов II ст.» (**2008**)



Родился **18 декабря 1933 г.**

в городе Речица, Белорусская ССР

В 1939 г. отец Фёдор Кузьмич был принят на работу в **Белорусскую сельскохозяйственную академию** на кафедру землеустроительного проектирования на должность и.о. доцента, и вся семья переехала в г. Горки.

С началом ВОВ отец ушел на фронт, мать с детьми эвакуировалась в Саратов.

В 1943 семья воссоединилась, а после окончания войны вернулась в г. Горки, где В.Ф. **в 1951 окончил школу с золотой медалью.**

Поступил на ММФ ЛГУ и был зачислен в группу механиков.

Дипломная работа по кавитации, защищённая на «отлично», была рекомендована к публикации.



Август 1956 г. - стажировка в Отделении прикладной математики математического института им. В.А. Стеклова, теперь ИПМ. Началось чтение лекций по гидродинамике, приближённым вычислениям, программированию. К 1956 году в ОПМ уже работала отечественная ЭВМ «СТРЕЛА», для которой сотрудниками были созданы программы, позволяющие рассчитывать характеристики ядерных зарядов. Куропатенко попал в отдел газодинамики, возглавляемый К.А. Семендяевым (один из авторов метода характеристик).

В декабре 1956 г. Валентин приехал на Урал, вооруженный знанием методик и технологии расчёта одномерного сжатия зарядов по программе «Б». Поселился на 21-й площадке. Когда сдали дома в посёлке он получил большую комнату в двухкомнатной квартире и **26 февраля 1957 г.** привёз туда жену и родившуюся в декабре дочку.

26 марта 1957 г. в институте была введена в эксплуатацию ЭВМ «СТРЕЛА». Куропатенко начал работать в отделе 32, возглавляемом А.А. Бунатяном, в группе Л.В. Старковой, которая приехала из Сарова и привезла программу «Д» для расчёта газодинамики в двумерном приближении, основанную на модифицированном методе Неймана-Рихтмайера.



Научное становление

Н.Н. Яненко предложил перейти Куропатенко в 31-й теоретический отдел, где он занялся проведением и исследованием результатов расчётов одномерного сжатия по программе «Б», в которой был реализован метод С.К. Годунова.

В 1959 г. (в 26 лет) был разработан новый однородный метод расчета ударных волн. Статья с описанием метода по представлению академика С.Л. Соболева была опубликована в ДАН СССР (Куропатенко В.Ф. Метод расчёта ударных волн // Доклады АН СССР. 1960. Т. 133, № 4).

Однородные методы расчета ударных волн



Каждый сильный разрыв заменяется непрерывным течением в слое конечной ширины (дистракция). В этом слое растет энтропия (диссипация энергии).

Известно 4 принципиально разных механизма моделирования диссипации энергии.

Год первой публикации	Авторы метода расчета	Страна	Механизм диссипации энергии
1950 г.	Д.Нейман, Р.Рихтмайер [1]	США	псевдовязкость
1954 г.	П.Лакс [2]	США	аппроксимационная вязкость
1957 г.	С.К.Годунов [3]	СССР	распад произв. разрыва
1960 г.	В.Ф.Куропатенко [4]	СССР	уравнения Гюгонио

1. Neumann J., Richtmayer R. A method for the numerical calculation of hydrodynamical shocks //J. Appl. Phys. – 1950. – V.21, №3 – pp.232-237.
2. Lax P.D. Weak solution of nonlinear hyperbolic equations and their numerical computations //Conn. Pure and Appl. Math. – 1954. – V.7 – pp.159-193.
3. Годунов С.К. Разностный метод расчета ударных волн//УМН-1957.-т12, вып.1.-с.176-177
4. Куропатенко В.Ф. Метод расчета ударных волн //ДАН СССР.– 1960. – В.3, №4. – С. 771-772.

По совокупности свойств метод [4] превосходит остальные.

1. **Метод Неймана-Рихтмайера.** **Недостатки:** немонотонность, жесткое условие устойчивости $\Delta t a/h \leq 0.25$, наличие эмпирических констант. **Достоинства:** разделение решений на сжатие и разрежение, слабая диссипация на непрерывных решениях.

2. **Метод Лакса.** **Недостатки:** сильное размазывание любых разрывов, большая диссипация энергии, искажение начальных данных при $\Delta t = 0$. **Достоинств нет.**

3. **Метод Годунова.** **Достоинства:** лежащая в основе метода физическая идея о распаде произвольных разрывов в каждой точке сетки, монотонность, отсутствие эмпирических констант. **Недостатки:** сильная диссипация энергии на непрерывных решениях, дивергентность.

4. **Метод Куропатенко.** **Максимум перечисленных достоинств и минимум недостатков.**

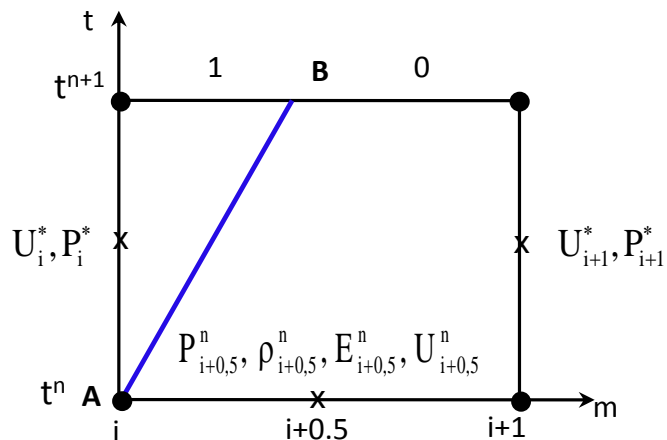
Всем однородным Лагранжевым методам свойственно образование энтропийных следов.

Суть однородного метода расчета УВ

В.Ф.Куропатенко



Сильный разрыв заменяется пакетом следующих друг за другом ударных волн меньшей амплитуды. Внутри ударного слоя в каждый момент времени в каждой ячейке сетки создаётся сеточная ударная волна, которая после перехода на следующий шаг по времени исчезает, а величины усредняются.

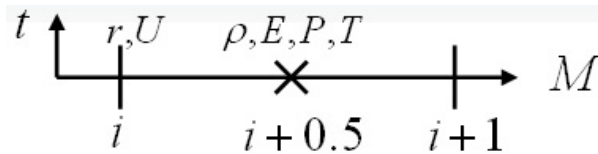


Схематическое изображение "сеточной" ударной волны АВ и состояний перед ней 0 и за ней 1.

Используя этот подход можно построить множество разностных схем с конкретными свойствами.

В.Ф. Куропатенко. Об одном методе сквозного счёта ударных волн // Вестник ЮУрГУ. Сер. Математическое моделирование и программирование. – 2014. – Т. 7, № 1.

Разностная схема ВОЛНА



$$\Delta U < 0$$

$$\Delta U = U_{i+1}^{n+1} - U_i^{n+1}$$

$$\Delta U \geq 0$$

$$\frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\tau} + \frac{\bar{P}_{i+0.5}^n - \bar{P}_{i-0.5}^n}{h} = 0,$$

$$x_i^{n+1} = x_i^n + \tau U_i^{n+1}, \quad V_{i+0.5}^{n+1} = \frac{x_{i+1}^{n+1} - x_i^{n+1}}{h},$$

$$E_{i+0.5}^{n+1} - E_{i+0.5}^n + \frac{1}{2}(\bar{P}_{i+0.5}^{n+1} + \bar{P}_{i+0.5}^n)(V_{i+0.5}^{n+1} - V_{i+0.5}^n) = 0,$$

$$P_{i+0.5}^{n+1} = P(V_{i+0.5}^{n+1}, E_{i+0.5}^{n+1}).$$

«Ударная адиабата»

$$\frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\tau} + \frac{P_{i+0.5}^n - P_{i-0.5}^n}{h} = 0,$$

$$x_i^{n+1} = x_i^n + \tau U_i^{n+1}, \quad V_{i+0.5}^{n+1} = \frac{x_{i+1}^{n+1} - x_i^{n+1}}{h},$$

$$E_{i+0.5}^{n+1} = E_{i+0.5}^n - \int_{V^n}^{V^{n+1}} P(V_{i+0.5}, E_{i+0.5}) dV,$$

$$P_{i+0.5}^{n+1} = P(V_{i+0.5}^{n+1}, E_{i+0.5}^{n+1}).$$

«Изэнтропа»

В.Ф. Куропатенко, Г.В. Коваленко, В.И. Кузнецова и др. Комплекс программ "ВОЛНА" и неоднородный разностный метод для расчета неустановившихся движений сжимаемых сплошных сред // ВАНТ, сер. мат. моделир. физ. процессов. – 1989. – В.2. – С. 9-25.

Е.И. Забабахин неоднократно высказывал *неудовлетворенность* тем, что в расчетах на ЭВМ *теряется наглядность*, к которой теоретики привыкли, просматривая результаты, полученные при «ручном счете» по методу характеристик.

В 1963 г. (в 29 лет) был разработан **неоднородный разностный метод**.

В 1964 г. (в 30 лет) защита кандидатской диссертации.

В 1965 г. (в 31 год) стал начальником 36 отдела.

В 1965 г. в РФЯЦ-ВНИИТФ был создан **неоднородный метод** расчета нестационарных движений сплошных сред в лагранжевых координатах, в котором выделяются все существенные разрывы, а несущественные – размазываются. Его применение устранило образование энтропийных следов возле контактных границ и в зонах взаимодействия ударных волн и резко повысило точность расчетов в целом.

Для расчета ударных и детонационных волн к законам сохранения на разрыве

$$P_1 - P_0 - W(U_1 - U_0) = 0, \quad U_1 - U_0 - W(V_1 - V_0) = 0,$$

$$P_1 U_1 - P_0 U_0 - W(E_1 - E_0) - 0,5W(U_1^2 - U_0^2) = 0$$

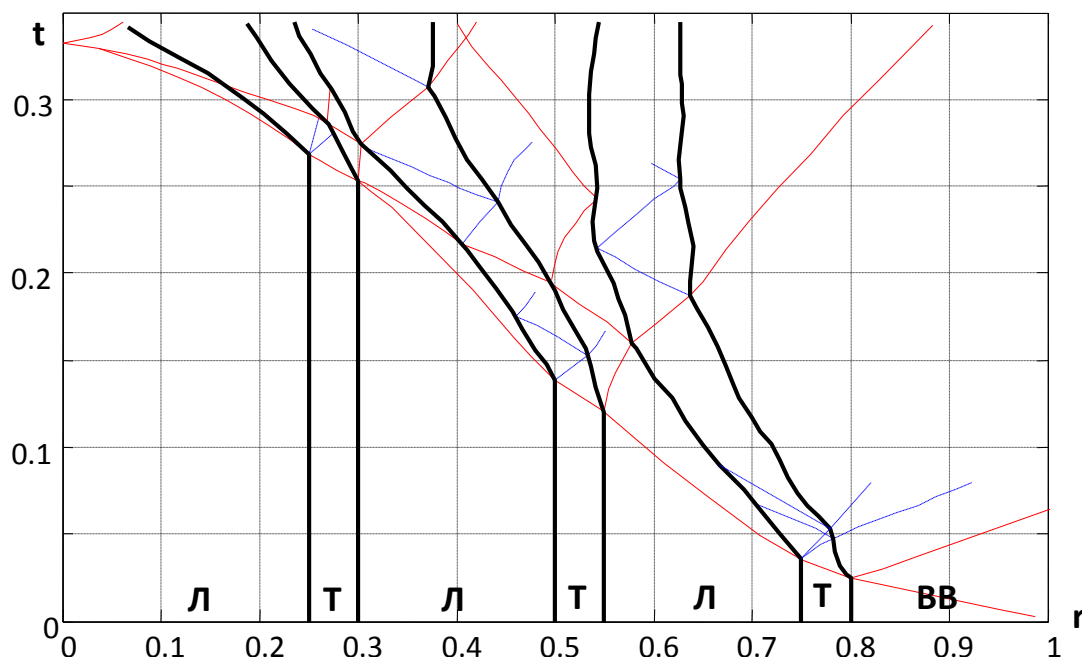
добавляется уравнение вдоль нормали к поверхности разрыва

$$\frac{dW}{dt} = \frac{1}{V_0 - V_1} \left[\left(\frac{\partial P}{\partial m} \right)_0 - \left(\frac{\partial P}{\partial m} \right)_1 + 2W \left(\left(\frac{\partial U}{\partial m} \right)_1 - \left(\frac{\partial U}{\partial m} \right)_0 \right) \right] +$$
$$+ \frac{\alpha W}{r(V_0 - V_1)} [(UV)_1 - (UV)_0] + \frac{W^2}{V_0 - V_1} \left[\left(\frac{\partial V}{\partial m} \right)_1 - \left(\frac{\partial V}{\partial m} \right)_0 \right]$$

где $\alpha = 1, 2, 3$ – тип симметрии течения.

При возникновении произвольных разрывов рассчитывается их распад.

При расчете слабых разрывов применяются условия на слабых разрывах.



На рисунке приведена картина сильных, слабых и контактных разрывов в переменных r, t в сферической многооболочечной конструкции после взрыва наружного слоя ВВ.

- Изв. ВУЗов, 1962.** М-д постр-я разн. схем для числ. инт-я ур-й газодинамики.
- ЖВМ и МФ, 1963.** Об одном разностном методе расчета УВ.
- Сиб. Конф. по мат. и мех., 1964.** Об одном разн. м-де расчета одн. детонации.
- Труды МИАН, 1966.** О разностных методах для уравнений гидродинамики.
- Изв. СО АН, 1967.** Об одной форме псевдовязкости.
- ЧММСС, 1970.** Приближенный метод расчета величин за фронтом УВ.
- ЖВМ и МФ, 1971.** О некоторых явных разн. схемах уравнений гидродинамики.
- ЧММСС, 1978.** О точности выч-я энтропии в разн. сх. для ур-й газодинамики.
- ЧММСС, 1981.** Адаптивный безусловно устойчивый м-д расч. мелких неодн.
- ВАНТ, 1982.** О полной консервативности разност. законов сохранения.
-
- ЧММСС, 1970.** Дробление в-ва при симметричном столкновении двух пластин.
- ЧММСС, 1971.** Расчет неуст. движений сж. сред с фазовыми переходами.
- 1973.** О захлопывании пузырьков в вязкой сжимаемой жидкости
- ЧММСС, 1973.** Об одной модели упругопластического деформирования.
- ЖТФ, 1976.** Магнитогидродинамический расчет взрывающихся проводников.
- ВАНТ, 1981.** Автомодельные течения двухкомпонентных смесей.

В 1966 г. работа по созданию различных УРС, стала одним из основных направлений 36 отдела.

Задача заключалась в **создании** таких **УРС**, которые **с хорошей точностью** описывали бы экспериментальные и теоретические данные о поведении веществ в максимально **широком диапазоне** изменения аргументов, при этом были бы экономичны, надёжны в эксплуатации и описывали равновесные фазовые переходы.

В период с 1966 по 1989 гг. были созданы:

- **УРСы с равновесным описанием фазовых переходов**, с учетом возможных метастабильных состояний
- **широкодиапазонный табличный УРС воды** с учётом испарения
- **УРС ПВ**
- **широкодиапазонный интерполяционный кусочно-аналитический УРС металлов** с приближенным описанием испарения (**УРС КИМ**) и горных пород

Фазовые переходы

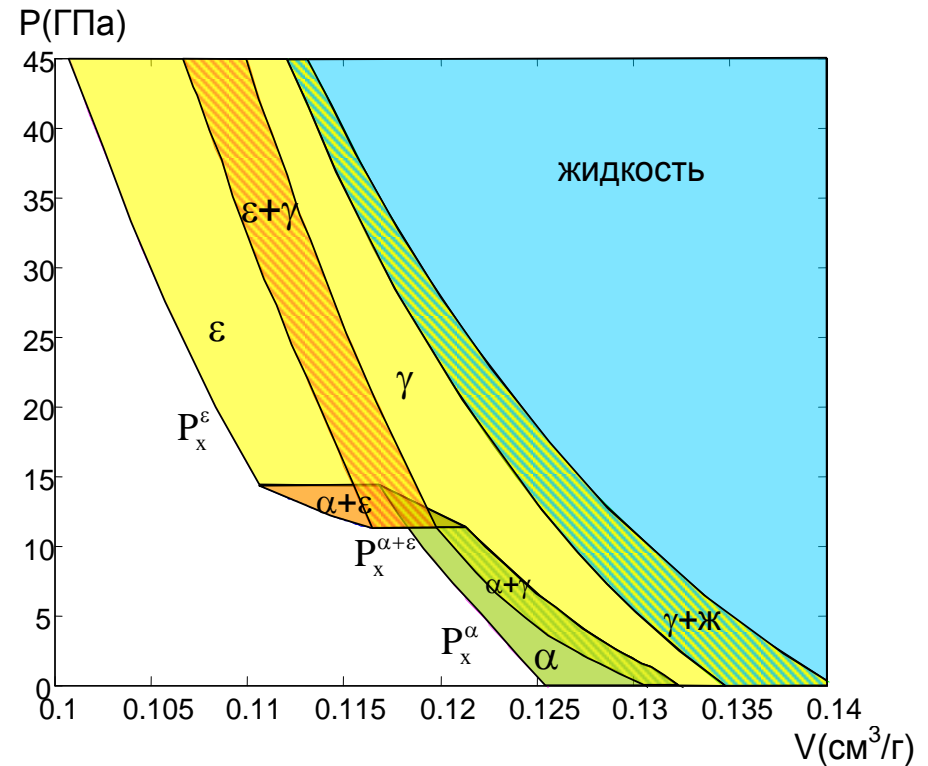


- Созданные УРС-ы моделируют: полиморфные переходы, плавление, испарение, диссоциацию, ионизацию.

Условия равновесия фаз:
непрерывность P , T и
термодинамического
потенциала $H = E + PV - TS$.

Границы между фазами:

- в переменных P , T – линии,
- в переменных P , V – области
равновесной смеси фаз.



Уравнение состояния железа в
плоскости P , V (Дремов В.В.)



После запрещения в 1964 г. воздушных, наземных и подводных испытаний ядерного оружия появилась необходимость в разработке методов определения мощности подземного ядерного взрыва. Расчёты по программе «ВОЛНА» были положены в основу **«метода грунтового шара»**.

За создание этого метода В.Ф. Куропатенко в составе авторского коллектива был удостоен звания лауреата Государственной премии СССР 1968 года (в 34 года).

В 1977 г. (в 43 года) защитил докторскую диссертацию.

Предложенные В.Ф. Куропатенко **методы построения УРС** были эффективно использованы для построения УРС грунтов в совместном советско-американском эксперименте **(СЭК) 1988 г.** по определению методов контроля подземных испытаний ядерного оружия. Расчёты по программе «ВОЛНА» оказались наиболее точными при определении мощности подземных ядерных взрывов **на Семипалатинском и Невадском полигонах.** СЭК фактически продемонстрировал, что, несмотря на огромное преимущество американцев в вычислительных мощностях, **наши математические разработки и методики оказались не хуже** и дали прекрасные результаты.



Точность моделирования

Общая точность расчётов при моделировании высокоинтенсивных динамических процессов определяется:

- **Точностью численного метода** решения системы законов сохранения
- **Точностью уравнений состояния** ВВ-ПВ и конструкционных материалов
- **Точностью описания физических процессов**, происходящих в материалах конструкции (детонация, откольное разрушение, проявление тензорных свойств среды, фазовые переходы)

Аналитические решения



Для контроля точности применяемых методов расчета строились аналитические решения. Их можно разделить на группы:

- сходящиеся к центру симметрии оболочки из сжимаемого конденсированного вещества
- захлопывание сферически симметричных полостей в сжимаемом конденсированном веществе
- взаимодействие волн разрежения, приводящее к откольному разрушению или дроблению
- выход ударной волны на свободную поверхность конденсированного сжимаемого вещества и движение свободной поверхности
- схождение к центру ударной волны в газовом шаре
- автомодельные течения двухкомпонентных смесей

Модель многокомпонентной среды

В.Ф. Куропатенко



Законы сохранения строго выполняются при любых преобразованиях уравнений

Модель МКС В.Ф. Куропатенко является наиболее общей и физически наиболее обоснованной моделью МКС

Модель является многоскоростной, описывает всю совокупность неравновесных состояний смеси

Уравнения для смеси получаются суммированием уравнений для компонентов

Все независимые уравнения модели инвариантны к преобразованию Галилея

Уравнения состояния компонентов могут быть сколь угодно сложными

Новые силы и потоки энергии универсальны и не зависят от физических свойств или УРС компонентов

Диффузионные модели, уравнение фильтрации получаются в виде следствий из модели МКС

Взаимодействие с коллективом



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Взаимодействие с коллективом



РФАЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Взаимодействие с коллективом



РФАЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Руководство математическим отделением



Выборы 1988 г. (55 лет)

1989-1996 начальник НИО-3

Развал СССР



Взаимодействие с руководством



РФАЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



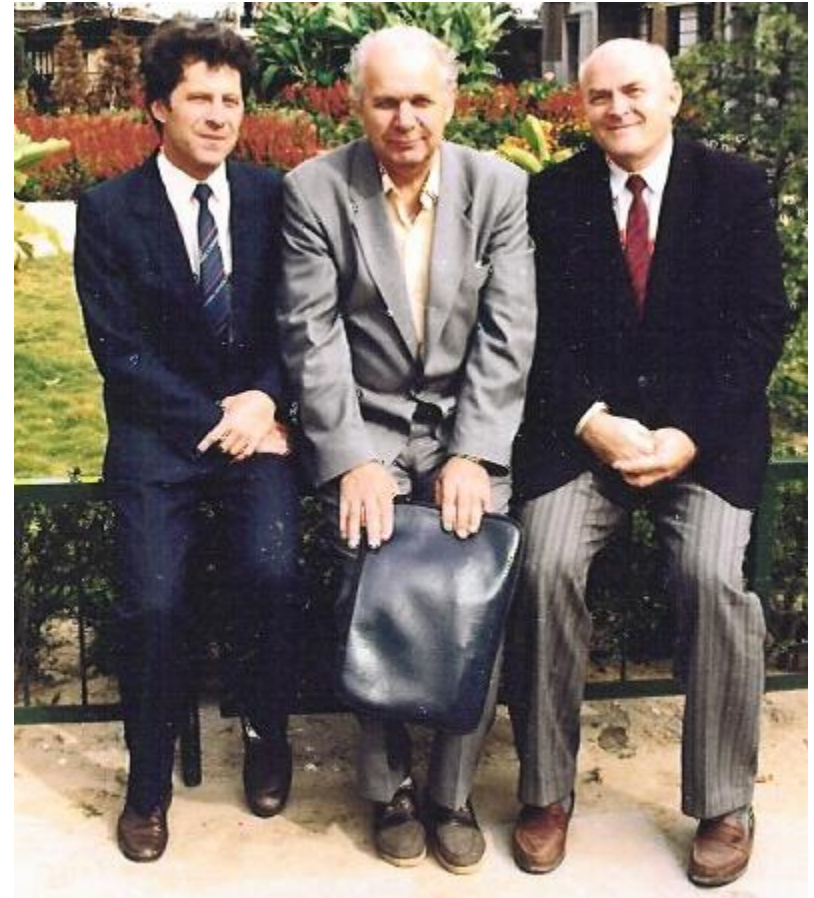
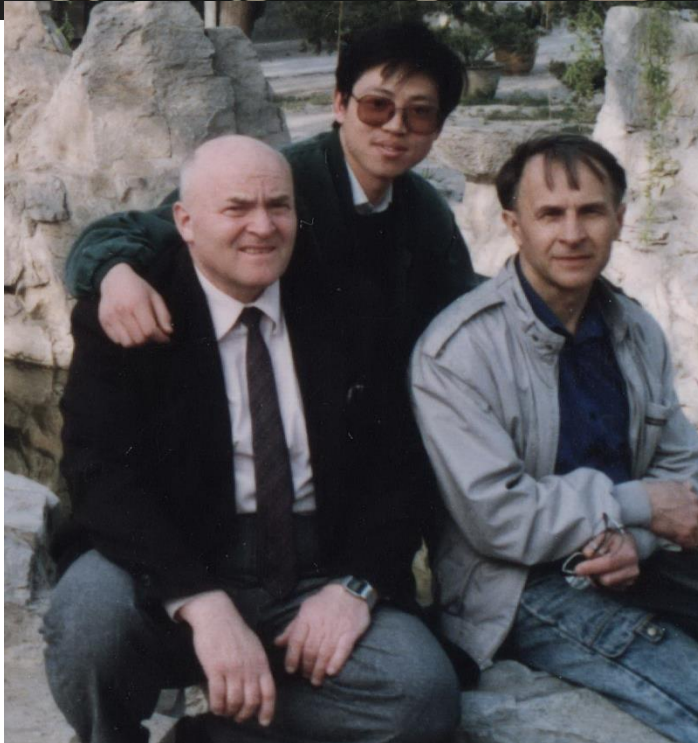
Взаимодействие со смежными организациями



Международные контакты



РФАЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Общественная деятельность



РФАЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ





Почетный гражданин города Снежинска



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Участие в конференциях



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Работа с молодежью



РФАЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Преподавательская деятельность



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

С 1963 по 2017 СФТИ, ЧелГУ, ЮУрГУ, почетный профессор ТГУ



14 учеников защитились под его руководством, из них 2 д.н.:

1. Шишкин Н.И. (д.н.)

2. Сапожников А.Т.

3. Гаджиева В.В.

4. Коваленко Г.В.

5. Зуев В.И.

6. Крюков В.М.

7. Карякин В.К.

8. Минаева И.С.

9. Быченков В.А. (д.н.)

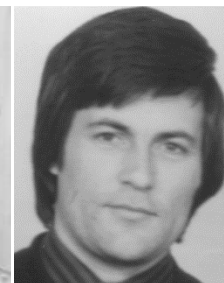
10. Буряков О.В.

11. Мустафин В.К.

12. Низамеев Х.Р.

13. Макеева И.Р.

14. Лупанов И.В.

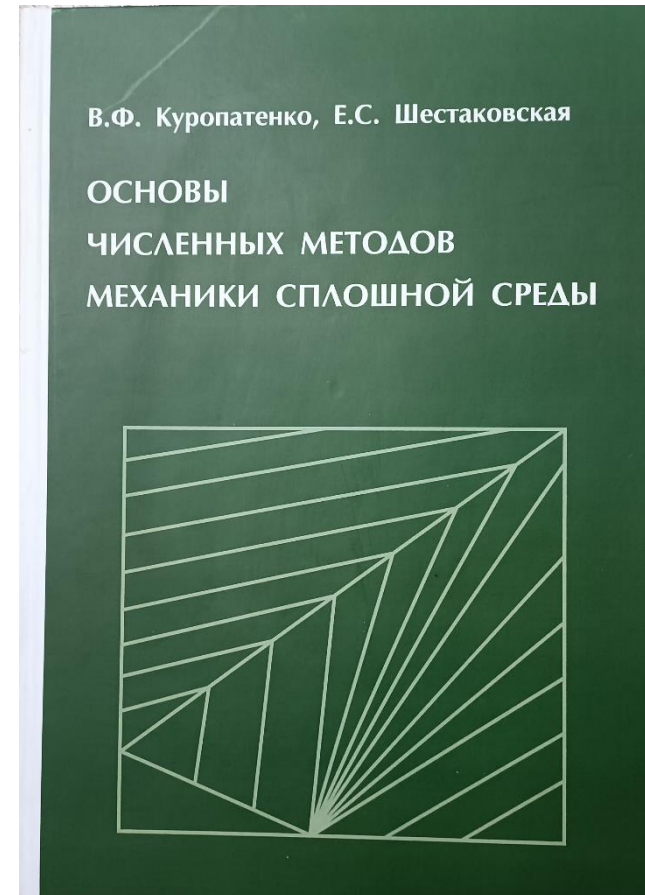


Оппонент по 42 диссертациям, 30 из них докторские
Большое число не защитившихся учеников

*Он в мире научном добился признания,
Статей, монографий, отчётов не счесть,
Не раз юбиляр награждался медалями,
И орден за труд, и Госпремия есть!*



440 публикаций из них 3 монографии



***Позиций своих не меняя со временем,
Хранит юбиляр до сих пор партбилет!
В Китае его принимали за Ленина —
Для них человека почётнее нет!***



Заключение



При математическом моделировании для адекватной оценки результатов необходимо понимать все особенности используемых моделей и методов.

Работы В.Ф. Куропатенко в области математического моделирования сложных физических процессов – пример системного научного подхода к разработке и обоснованию математических моделей.

Разработанные им численные методы, модели поведения среды, уравнения состояния в течение полувека успешно используются в программных комплексах РФЯЦ-ВНИИТФ.



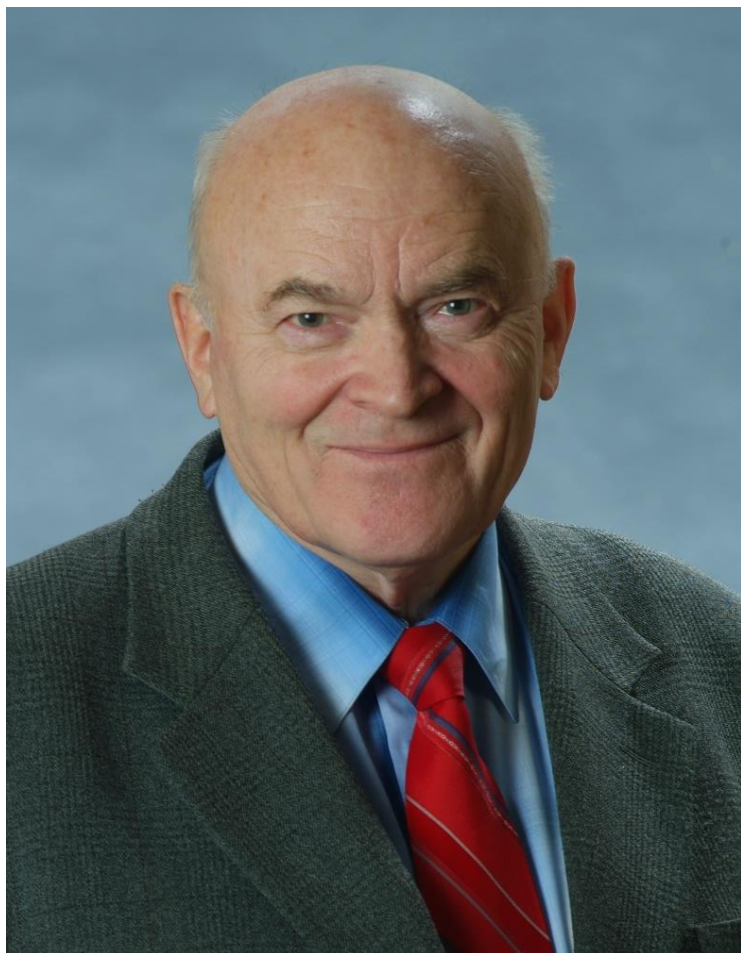


*Когда я уйду – может, скоро, а может, не скоро –
От уральских озёр, от забот и мечтаний моих,
Те вспомнят меня, кому был я хоть чуточку дорог,
Но помнящих будет с годами всё меньше в живых.*

*На старых стволах отмирают усталые ветки.
На смену встают молодые, с зелёной листвой.
Прорывы в науке творили мои однолетки
И юность, идущую вслед, увлекали собой.*

*Теперь же гляжу я в грядущее пристальным взглядом
И жду от неведомых звёзд сообщений живых.
Хотя уже рядом со мною ложатся снаряды –
Когда я был молод, мне не было дела до них.*

*Нам нечего ждать от вселенной прихода мессии
И молча смотреть, как богатство отцов обращается в прах.
Своими руками, умом и трудом возвратим мы величье России,
Чтоб миру сияла она путеводной звездой в веках!*



<http://www.kuropatenko.ru>

