

3.2. Бурнород и теплород Буссинеска-Ломоносова

*Станете ли Вы отказываться от обеда только потому, что Вам не полностью понятен процесс пищеварения?
(великий физик Хевисайд Оливер)*

Брюнеты любят сваливать всё в одну кучу, мешая блондинок с брюнетками и шатенками, а божий дар с яичницей. Во всех своих бесчисленных обзорах моделей турбулентности они начинают с Ал-Габриических выражений турбулентной вязкости μ_t по гипотезе длины пути смешения ($L=k \cdot y$) в виде $\mu_t = L^2 \cdot (\partial U / \partial y)$ для замыкания уравнений Ренольдса $u v = \mu_t \cdot \partial U / \partial y$, потом переходят к дифференциальным уравнениям для односточечных моментов (рейнольдсовых турбулентных напряжений $u_i u_j$), моделированию «крупными вихрями» LES и, наконец, к прямому численному решению уравнений Навье-Стокса DNS. Блондинки тоже могут обобщить, к примеру, брюнетов с обезьянами, кобелями и котами в общий класс пресмыкающихся самцов, но предпочитают классификацию по сути вопроса - потенности и импотенности. У многих на слуху древнее слово «теплород». Хитрые блондины уверяют современников, что давно доказали, что теплорода нет, а есть тепловое движение молекул. Но все современные коммерческие коды вычислительной гидродинамики и теплообмена CFD никакое тепловое «блуждание» молекул не рассчитывают, а пользуясь понятием теплорода от Ломоносова и гипотезой Фурье о пропорциональности теплового потока градиенту концентрации теплорода $q = \lambda \cdot (\partial T / \partial y)$, преспокойно мороча головы остальным, численно рассчитывая, куда течёт теплород и сколько, а не как некие фононы «переколебаются» сквозь молекулы...

Проблема турбулентности в XIX веке началась с двух брюнетов (гмм... почти) – Осборна Рейнольдса и Луи Буссинеска. Первый, как истинный джентльмен, решил разделить течение воды на осреднённое и пульсации в нём, а второй чисто по-французски создал коктейль типа «шампань-коблер», решив, что бурное течение воды можно описать как спокойное течение, но брать при этом не молекулярную вязкость воды μ , а некую турбулентную вязкость μ_t , чтобы свести концы с концами... опытных данных.

Потом педантичный немец Прандтль узрел некую аналогию блуждания турбулентного вихря с блужданием в свободном молекулярном пробеге (длиной λ) одинокой молекулы $\tau = (\rho \cdot \lambda \cdot \hat{u}) / 3 \cdot (\partial \bar{U} / \partial y)$.

А другой немец Карман назвал константу блуждания $K=0.41$ в выражении для длины пробега вихря $L=k \cdot y$ своим именем, т.е. константой Кармана. Потом выяснил Ван-Дрийдт, что совсем вблизи стенки трудно бегать вихрю из-за молекулярной вязкости (вибрирующая пластина, экспоненциальное затухание) и появилась демпфирующая функция Ван-Дрийдста ($A=26$):

$$L = (k \cdot y) \cdot [1 - \exp(-y^+ / 26)].$$

Вслед и Клебанов в громадной американской аэродинамической трубе узрел, что вдали от стенки трубы то есть бурность, то нет. Назвав сие явление перемежаемостью бурного потока, ввели функцию снижения бурной вязкости во внешней части пограничного слоя имени товарища Клебанова (американского, а не российского... с оптического завода) пропорционально степенному отношению расстояния от стенки к толщине погранслоя

$$\gamma_{Klebanoff} = [1 + 5.5 \cdot (y / \delta)^6]^{-1}.$$

Когда человечество потянуло к звёздам, выяснилось, что в соплах, где скорость внешнего потока горячего газа не постоянна, как в круглой водопроводной трубе, всех этих поправок Кармана, Ван-Дрийдста и Клебанова не хватает для точного предсказания трения

и теплообмена в градиентных пристенных течениях (диффузорах да конфузорах). Когда насгорало много ракет, Себеси со Смитом из опытов вывели функцию влияния продольного градиента давления на длину смешения турбулентного блуждания L:

$$A = \frac{26\nu}{V_* \sqrt{1 - 11.8(\nu U_e / V_*^3) dU_e / dx}}$$

Вершиной теории **бурнорода** можно считать в высшей степени ad hoc немногочисленные дифференциальные модели переноса самого бурнорода μ_t (Холщевниковой-Секундова и др.), завершившиеся неплохой моделью Спалларта-Алмараса [Spallart-Almaras].

В принципе, на этом наука **бурнорода** и закончилась. Но не для ботанов, любящих читать историю, а не творить её самим, это повествование. А как прелюдия к моделям турбулентности, использующим гипотезу Рейнольдса. Тогда советские учёные вовремя появились. Пара Келлера с Фридманом, успев до сталинских репрессий позабавиться Ал-Гebraическими выводами бесконечных уравнений замыкания для турбулентных пульсаций (в уравнениях для «средних» скоростей U_i появились вторые моменты $\overline{u_i u_j}$, в дифференциальных уравнениях для вторых моментов появились третьи моменты $\overline{u_i u_j u_k}$ и т.д.), породила известную проблему... обрезания... этой бесконечной цепочки уравнений. Академик Миллионщиков решил, что длинные моменты так запутаны сами с собой, что можно принять их по нормальному закону распределения вероятностей и проблема обрезания уступила место проблеме оптимального усекания высших моментов. На этом предыстория современных дифференциальных моделей турбулентности на уровне замыкания осредненных по правилу Рейнольдса уравнений движения уравнениями переноса турбулентных характеристик потока можно и завершить.

Та к чему мы тут всё это? Забавы ради? Отнюдь нет!

Советские учёные Келлер, Фридман и Милионщиков творили до «открытия» перемежаемости турбулентного потока Клебановым и в их уравнениях при осреднении по Рейнольдсу никакой такой перемежаемости нигде не появлялось. Сия абстракция уместна лишь для Буссинесковской среды **бурнорода**!

Гуманитарии любят повторять фразу, что история повторяется в виде фарса и... накаркали нелюбители арифметики! Потому как советская «лже-наука» кибернетика с появлением персональных компьютеров и утечки программных кодов из аэрокосмических лабораторий в «коммерческое плавание» породила не «лже-науку», а настоящую псевдо-науку. Примеры далее будут обильными и сочными. От «смеси бульдога с носором» в виде «блендовых» моделей турбулентности Ментера BSL и SST (и иже с ними) до введения аж дифференциального уравнения переноса перемежаемости в отчаянных попытках решить проблему расчёта ламинарно-турбулентного перехода. Да уж, это нефизично... - нехотя признаются такие «изобретатели», но добавляют тут же – а ведь кое-что мы так посчитать можем же! И ... приводят опытные данные, по которым и настраивали свои якобы константы уравнения перемежаемости. Остается лишь глубоко сожалеть о том, что с русского языка на иностранные не была переведена крылатая фраза В.С.Черномырдина – «если у вас руки чешутся, то чешите в другом месте».

Для совсем тупых брюнетов добавим, что если бы эти тирады относились к моделям расширения Вселенной и расчёту атмосферы белых карликов, то и «чем бы брюнеты не тешились, лишь бы не лакали...». Но такие псевдонаучные модели турбулентности вставляют коммерсанты в свои бизнес-комплексы CFD, благо доверчивых дилетантов в лице пользователей пруд пруди. Но CFD в XXI веке – не забава аспирантов академических институтов, а «руки» конструкторов практически во всех отраслях промышленности. Годы

кропотливой работы огромной армии учёных по созданию эффективных алгоритмов решения дифференциальных уравнений переноса сняли с инженера-конструктора заботы быть на все руки мастером, перенося проблему с чисто математической на физическое понимание задач. Конечно, никаких новых «ламинаризованных» самолётов по таким псевдо-моделям турбулентности не создашь. Парадокс лицемерия – коммерсанты очень пекутся о «патентности» своих кодов (позаимствованных, как всем «профи» известно, у Патанкара со Сполдингом) и ... не несут никакой юридической ответственности за область применения физических моделей в своих кодах.

Можно злорадствовать (как поют, со слезами на глазах...), как «счастливые» российские компании на своих маломощных кластерах молотили сутками купленными коммерческими CFD свои турбины и лопатки по «универсальным» моделям Менгера BSL и SST, докладывали на всероссийских конференциях по теплообмену об уникальных расчетах, а спустя год читали рекламку той же компании CFD, что создана ... наконец... впервые в мире модель расчёта ламинарно-турбулентного перехода!

Таким образом, модели перемежаемости бурнорода и подход Рейнольдса несовместимы.

Не следует считать модели **бурнорода** некими бесперспективными и устарелыми. Аналогия с кинетической теорией газов весьма плодотворна и перспективна. Различие между ламинарными и турбулентными процессами сводится лишь к тому, по Струминскому, что в первом случае перемешивание осуществляется отдельными молекулами, а во втором – группами молекул. Обобщенная кинетическая теория газов академика Струминского [[Струминский В.В., 1965, 1966, 1968, 1974, 1977, 1980](#)], принципиально отличающаяся от квазиравновесного метода Чепмена-Энскога – лишь начало построения теории турбулентности подобно той, что осуществил Больцман с его знаменитой функцией распределения в кинетической теории газов.

Но футурология – не наша специальность. Время покажет, какой подход окажется более плодотворным и общим – моментная статистическая теория турбулентности на базе уравнений Навье-Стокса или кинетические многогрупповые уравнения типа уравнений Струминского... или ещё что-то третье. Диалектика - электрон так же неисчерпаем как и атом.