

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ АНАЛИЗЕ

Лекция 2

Болдырев Ю.Я., Замотин К.Ю., Петухов Е.П.

Санкт-Петербургский Государственный
Политехнический Университет

boldyrev@phmf.spbstu.ru

Взаимосвязь физического и математического эксперимента

2

- Современное естественнонаучное и инженерное знание – это совокупность многотысячелетнего человеческого опыта, главным образом, экспериментального.
- Экспериментальный опыт служил основой знаний научного и инженерного сообщества примерно до конца XVIII века, использовался при создании всех машин и механизмов, служивших человеку.
- В конце XVIII века появились труды И. Ньютона, Л. Эйлера, Ж. Лагранжа и др., стали формироваться качественно новые методы описания окружающего мира. В основе нового формирующегося инструментария лежало дифференциальное и интегральное исчисление.

Взаимосвязь физического и математического эксперимента

3

- В начале XIX века стала обостряться необходимость создания теоретических основ инженерного анализа и проектирования
- Непрерывно растущая потребность повышения эффективности работы машин, в первую очередь повышение их КПД, требовала иной точности в их проектировании и изготовлении
- Начало «вытеснения» физического эксперимента и частичная замена его математическим началась на рубеже XIX-XX веков. Происходит активный рост эффективности математических технологий, возрастают трудности физического эксперимента, его цена.
- Начало XX века ознаменовалось началом смены парадигмы в инженерном деле – физический эксперимент стал медленно сменяться теоретическими подходами на математической основе.

Роль математического моделирования в современном инженерном анализе

4

- Потребность в инженерном анализе окончательно сформировалась в конце XIX – начале XX веков
- Бурно развивающийся технический прогресс: новые механизмы и машины, электрические двигатели и электрические сети, двигатели внутреннего сгорания, дизели и бензиновые двигатели, паровые и газовые турбины и др.
- Развитие технологий, формирование новых требований к инженерному анализу и проектированию
- Возрастает роль теоретических основ естественных наук: физики, механики и химии
- Возникает необходимость «составления математической модели явления, процесса, задачи»

Пример эволюции математической модели движения жидкости

5

- Закон Архимеда (~2250 лет назад) описывает статическое поведение тела в жидкости (или в газе).
- На всякое тело, погруженное в жидкость, действует со стороны этой жидкости сила, равная весу вытесненной телом жидкости:

$$F = mg$$

- F – сила Архимеда, m – масса тела, g – ускорение силы тяжести

Пример эволюции математической модели движения жидкости

6

- Первое уравнение движения жидкости Д. Бернулли (XVIII век):

$$p + \frac{\rho V^2}{2} = \textit{Const}$$

- V – скорость жидкости, ρ – плотность, p – давление;
- постоянная \textit{Const} определяется уровнем всего объема жидкости в поле сил тяжести и меняется от одной линии тока к другой.

Пример эволюции математической модели движения жидкости

7

- Уравнения Навье-Стокса для вязкой жидкости (XIX век)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w$$

- u, v, w и ρ – компоненты вектора скорости жидкости и ее плотность, p – давление, F_x, F_y и F_z – компоненты вектора массовых сил (в частности сил тяжести), ν – кинематическая вязкость жидкости

Основные блоки современного инженерного анализа

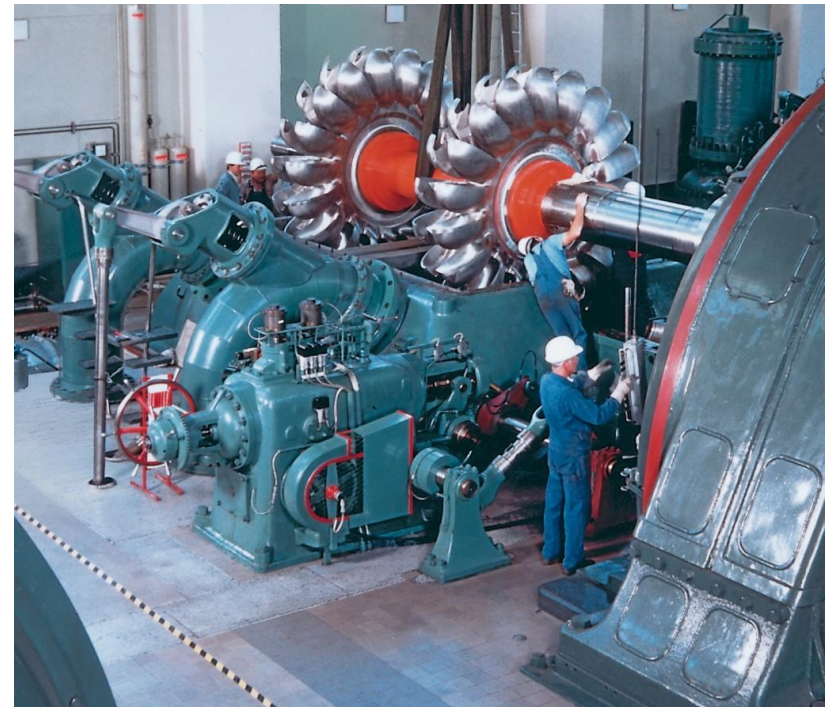
8

- Блок вычислительных технологий на основе конечно-элементного анализа FEA (Finite Element Analysis), содержащий в себе результаты 80-ти летнего развития метода конечных элементов, начиная с идей Р. Куранта.
- Блок вычислительных технологий гидроаэродинамики CFD (Computational Fluid Dynamics), сконцентрировавший в себе все подходы и методы вычислительной гидродинамики.

Пример междисциплинарной задачи

9

- Разработка и производство гидротурбин в энергомашиностроении.
- Важнейшая характеристика – КПД, определяется характером геометрии проточной части гидротурбины (рабочее колесо, направляющий аппарат и т.д.).

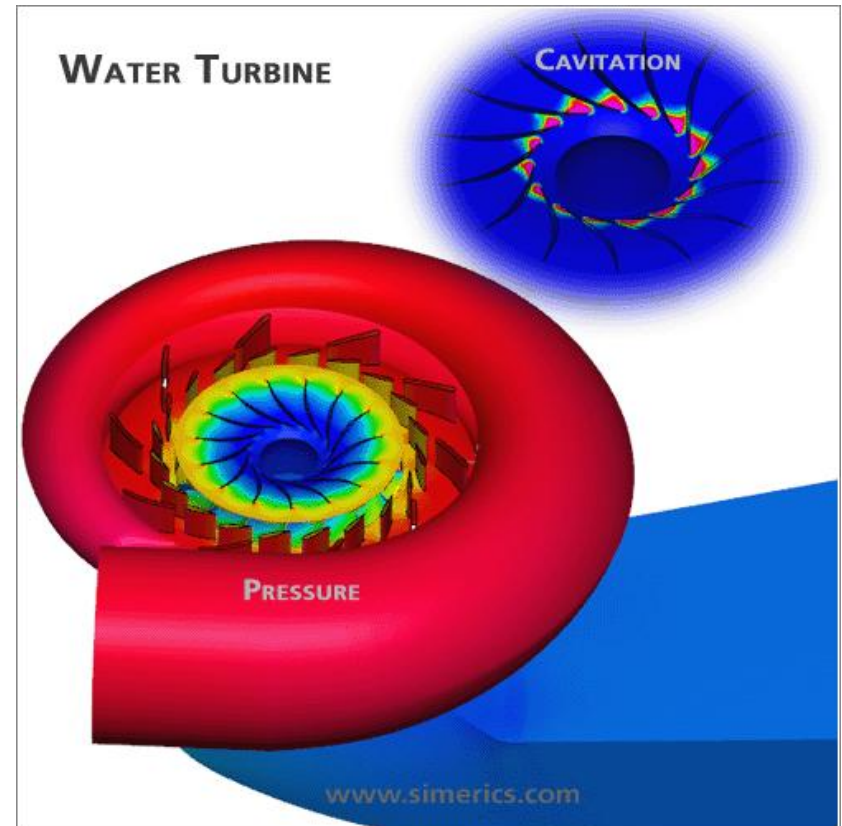


Построение наилучшей геометрии невозможно при наличии лишь физического эксперимента, требуется математическое моделирование

Пример междисциплинарной задачи

10

- Описание течения в гидротурбинах – проблема вычислительной гидродинамики. Течение носит ярко выраженный турбулентный характер.
- При нагрузках, которые испытывает рабочее колесо турбины, весьма острой является проблема износа его поверхности под воздействием кавитации.
- Необходимо также учесть процессы упруго-гидродинамического взаимодействия рабочего колеса с потоком жидкости.



Пример междисциплинарной задачи

11

- Полномасштабная корректная физико-математическая постановка задачи об описании течения в проточном тракте гидротурбины – это совокупность связанных начально-краевых задач математической физики. При этом рассматриваемая задача решается в весьма сложной геометрической области и для ее дискретизации необходимо построить разбиение области на многие миллионы ячеек (так называемых конечных объемов).
- Междисциплинарная задача – связанная совокупность начально-краевых или краевых задач различной природы, описывающих процесс, происходящий в машине или в какой-либо системе.

Литература

12

- Сипенков И.Е., Филиппов А.Ю., Болдырев Ю.Я, Григорьев Б.С., и др. Прецизионные газовые подшипники. СПб. Изд. ЦНИИ «Электроприбор», 2007, 504 с
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. - 840 с.
- З. Боровков А.И., Бурдаков С.Ф. и др. Компьютерный инжиниринг. Учебное пособие. СПб. Изд. СПбГПУ, 2012, 93 с.
- Болдырев Ю.Я., Боровков А.И., Глухов В.В. Интегрированные информационные технологии инженерного и экономического анализа// Тез. докл. Всероссийской конференции «Интеграция науки и высшего образования России». Самара, Казань. 2001. Ч.2. 139-141.
- М.П. Федоров, Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков, В.А. Пальмов. CAE - технологии критические технологии Российской Федерации// Труды СПбГПУ Материалы VI Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах» СПб.: СПбГПУ, 2002. С.17-24.
- Галеев Э.М. Курс лекций по вариационному исчислению и оптимальному управлению. М., МГУ, 1996.