В ПИШ СПбПУ состоялась открытая лекция «Использование точных решений уравнений гидродинамики при создании цифровых двойников, виртуальных экспериментов для исследования течений жидкости в различных силовых полях»

5 декабря 2023 года в Передовой инженерной школе «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ПИШ СПбПУ) прошла открытая лекция доктора физико-математических наук, и.о. заведующего кафедрой информационных технологий Уральского федерального университета имени Первого президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург), заведующего сектором нелинейной вихревой гидродинамики Института машиноведения им. Э.С. Горкунова УрО РАН, (Екатеринбург) **Евгения Юрьевича Просвирякова**.

Тема лекции: «Использование точных решений уравнений гидродинамики при создании цифровых двойников, виртуальных экспериментов для исследования течений жидкости в различных силовых полях».

В своем докладе **Евгений Юрьевич** рассказал слушателем о микрополярной среде жидкостей. Как идёт этот процесс? Подавляющее большинство исследований течений жидкостей основано на применении общепринятых уравнений Навье-Стокса, дополненных уравнением несжимаемости. Вывод уравнений Навье-Стокса основан на постулатах (гипотезах)

ньютоновской механики континуальных сред, каждая частица которых рассматривается как материальная точка. Заменяя представительный объем («жирная» точка) сплошной среды материальной точкой.

НАПРЯЖЕНИЯМИ
$= -\nabla P + \nu\Delta V - \mu\Delta\Delta V,$
$\nabla \cdot V = 0.$

Докладчик рассказал, по умолчанию считается, что представительный объем имеет три степени свободы (трансляционные степени свободы). Использование такого подхода накладывает ограничения на исследования изменений вязкости жидкости, коэффициентов трения и других поверхностных эффектов. Учет дополнительных степеней свободы элементарного объема деформируемых сред (континуумов) приводит к тому, что напряжения Коши не уравновешивают друг друга. В этом случае тензор напряжений становится несимметричным, поскольку появляются добавочные напряжения из-за учета деформационных свойств скоростей завихренности элементарных объемов жидкости. К настоящему времени такие среды называют микрополярными.

ПОЛИТЕХ

Таким образом, детально изучая основы механики жидкости можно сделать вывод, что вращение жидкости (течение жидкости с вертикальной компонентой завихренности) может быть обусловлено не только движением жидкости в поле силы Кориолиса. Это важное замечание ценно для решения задач описания крупномасштабных течений Мирового океана, образования волн большой амплитуды и других важных задач течений жидкостей в тонких слоях.

Интегрирование уравнений для описания трехмерного движения жидкости является нерешенной задачей – Шестая проблема тысячелетия. Тем не менее, начиная с момента вывода уравнений гидродинамики ее отцом Эйлером были начаты систематические исследования по аналитическому интегрированию.

ПОЛИТЕХ
открытая лекция
Использование точных решений уравнений гидродинамики при создании цифровых двойников, виртуальных экспериментов для исследования течений жидкости в различных силовых полях
Евгений Юрьевич Просвиряков
5 декабря 2023 г.
ВЫХОД
ВЫХОД

В выступлении спикер отметил, что при изучении течения жидкости важно иметь запас точных решений уравнений Навье-Стокса и близких к ней системам. Разработка алгоритмов аналитического интегрирования уравнений Обербека–Буссинеска является задачей принципиально сложнее, чем нахождения класса точных решений для уравнений Навье–Стокса. К первому классу точных решений уравнений Обербека–Буссинеска следует отнести семейство Линя-Сидорова-Аристова, которое линейно зависит от двух пространственных координат, а поля давления и температуры (концентрации), являются квадратичными формами. Коэффициенты всех форм зависят от третьей координаты и времени. Недавно были анонсированы классы точных решений с нелинейной зависимостью от части координат для исследования изотермических, изобарических и конвективных (тепловых) течений вязких несжимаемых жидкостей.

Во время доклада **Евгений Юрьевич** анонсировал не только классы решений уравнений Навье-Стокса для классических и микрополярных жидкостей, но и дал физическое применение полученных решений. Особое внимание спикером было уделено сдвиговым течениям жидкости в различных силовых полях. Было показано, что переопределенная система уравнений после редукции уравнений движения жидкости имеет нетривиальные точные решения, описывающие неоднородные течения вертикально завихренной жидкости вне поля Кориолиса. Эти решения описывают противотечения и усиление скоростей внутри слоя в сравнении с граничными условиями. Обсуждаются области применения полученных точных решений и направления дальнейшего построения классов точных решений уравнений гидродинамики.

ЦИФРОВОЙ
ИНЖИНИРИНГ
Передовая инженерная
школа СПбПУ

Евгению Просвирякову представляется, что полученные им и его соавторами классы точных решений могут быть полезными при создании цифровых двойников, виртуальных

экспериментов для исследования течений жидкости в различных силовых полях. Данные решения могут использовать не только как тестовые, но как анзацы для редуцирования систем нелинейных уравнений к более простым уравнениям.

Евгений Юрьевич поделился своими впечатлениями после встречи: *«Я с удовольствием посетил Санкт-Петербург — колыбель мировой гидродинамики. Город, в котором ученые решают Проблемы Тысячелетия. В своем докладе я затронул современные проблемы математики и механики, которые зародились и развивались в городе на Неве. Мне импонировала заинтересованность студентов и коллег. Я рассказал о новых подходах в информационных технологиях, которые, как мне кажется, смогут объединить нынешнее поколение инноваторов с первопроходцами. Я очень рад, что университет выслушал мои идеи, рождению которых способствовало многолетние общение с ленинградскими и петербургскими учеными. Спасибо за приглашение! Жду новых встреч!»*.

После лекции спикеру задали множество вопросов, на которые были даны четкие, развернутые ответы. Коллеги и студенты рассказали о своих впечатлениях:

Екатерина Мартынец, ведущий специалист отдела технологического и промышленного форсайта ПИШ СПбПУ: *«Лекция была насыщена фундаментальными подходами и практическими примерами – природными, промышленными и даже бытовыми. Благодаря этому удалось погрузиться в тему и осознать, насколько физика, математика, механика тесно переплетены с нашей жизнью и буквально пронизывают любое явление. Отдельное спасибо лектору за живой диалог и подробные ответы на вопросы».*

Дмитрий Журавлев, инженер-исследователь Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» ПИШ СПбПУ: *«Посетили с коллегами лекцию Евгения Юрьевича Просвирякова об использовании точных решений уравнений гидродинамики при создании цифровых двойников изделий. Правда, на мой взгляд, тема доклада была выбрана слишком широкой и/или не была раскрыта в полной мере, поскольку рассматривались решения одной модельной задачи. Сам же автор упомянул, что при решении реальных задач в силу сложности областей в которых ищется решение, о точных решениях там речи не идет. С другой стороны, уже сам факт проведения таких лекций и возможность вживую послушать ведущих специалистов страны – благо».*

Иона Гесин, магистрант ПИШ СПбПУ программы «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство»: *«Сегодня наша группа посетила лекцию Просвирякова Евгения Юрьевича по теме гидродинамики. Понравилось наполнение лекции примерами применения моделей гидродинамики в различных областях исследований. Были приведены интересные решения задач гидродинамики с объяснением их важности и возможностей использования. В течение лекции была выделена, на мой взгляд, очень важная идея важности использования фундаментальной математической базы в изучении всего, что нас окружает».*

Екатерина Садовченко, магистрант ПИШ СПбПУ программы «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство»: *«Лекция на тему использования точных аналитических решений в гидродинамике при создании цифровых двойников оказалась увлекательной. Было интересно узнать, что эти решения не только существуют в ограниченном объеме, но и применяются для калибровки моделей. Лекция погрузила нас в мир уравнений гидродинамики, раскрывая, как*

профессионалы работают с этой сложной областью. Обсуждение фундаментальных вопросов, таких как определение турбулентности, расширило наше понимание в данной теме».

Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг» на постоянной основе проводит лекции для студентов и сотрудников. Со всеми лекциями и семинарами можно ознакомиться

здесь.