

**Практическое задание регионального этапа
Всероссийской олимпиады школьников по труду (технологии)
2025-2026 учебный год
профиль «Техника, технологии и техническое творчество»
11 класс
Аэродинамический расчет. Программирование полетного задания
беспилотного летательного аппарата.**

Задание состоит из трех последовательных этапов

Первый этап: Создание 3D модели крышки для трубки Пито для последующего аэродинамического расчета.

1.1. Трубка Пито — прибор для измерения полного давления (складывающегося из динамического и статического давления) в потоке жидкости или газа. В авиации используется в качестве приёмника воздушного давления (далее ПВД) для определения высоты и скорости полёта (см. Рисунок 1).



Рисунок 1. Приемник воздушного давления (ПВД) на МиГ 29

- 1.2. По данному чертежу (см. Рисунок 2) разработайте крышку для ПВД в виде конуса с углом от основания 5 градусов и диаметром в основании 150 мм.

1.4Пример ПВД с крышкой представлен на Рисунке 4.

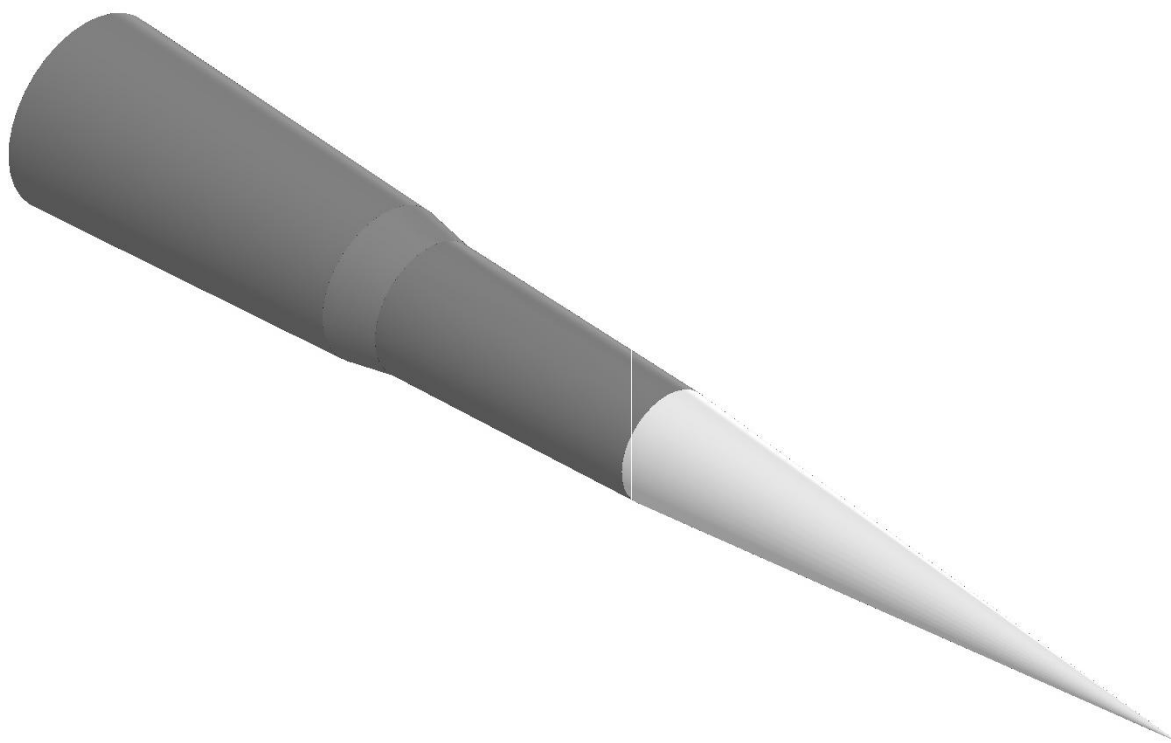


Рисунок 4. Трубка ПВД с крышкой

Второй этап: Расчет аэродинамических характеристик 3D модели крышки ПВД в программе КОМПАС-3D с расширением KompasFlow.

2.1 Внимательно прочитайте **описание эксперимента** и ознакомьтесь с заданными условиями.

2.2 В соответствии с пунктом **моделирование** проведите аэродинамический расчет следующих характеристик 3D модели крышки ПВД: сила аэродинамического (лобового) сопротивления, действующая при угле атаки ветрового потока $\alpha = 0^\circ$, коэффициент аэродинамического сопротивления, скоростной напор. В программе КОМПАС-3D с расширением KompasFlow.

2.3 Внесите в программе КОМПАС-3D с расширением KompasFlow для расчета заданные характеристики в единицах измерения СИ.

Важно: не забудьте перевести в систему СИ.

2.4 Создайте личную папку в указанном организаторами месте (обычно на рабочем столе компьютера) с названием по шаблону:

Шаблон	Пример
Zadanie_номеручастника_rosolimp	Zadanie_v12.345.678_rosolimp

2.5 Сделайте снимки экрана итогов измерений, заданных характеристик на угле атаки 0 и сохраните в формате PNGили JPEGв личную папку в указанном организаторами месте (обычно на рабочем столе компьютера).

Шаблон ¹	Пример
СнимокэкранаN_rosolimp.тип	Снимокэкрана1_rosolimp.png Снимокэкрана1_rosolimp.jpeg

2.6 Из созданной 3Dмодели крышки трубки ПВД в КОМПАС-3Dсоздайте эскиз, где главный вид – вид с боку.

2.7 На эскизеукажите физические силы и векторы, действующие на модель при заданных условиях (см. **описание эксперимента**).

2.8 Итоговый эскиз с указанными физическими силами и векторами-сохраните в формате pdf в личную папку в указанном организаторами месте (обычно на рабочем столе компьютера).

Шаблон ¹	Пример
Эскиз N_rosolimp.тип	Эскиз 1_rosolimp.png

Описание эксперимента

Обтекание крышки ПВД потоком воздуха со скоростью $v = 200$ м/с. Плотность воздуха $\rho_v = 1,225$ кг/м³, динамическая вязкость $\mu = 0,0000182$ кг/м · с. Давление на бесконечности $p = 101\,000$ Па, температура на бесконечности $T = 273$ К, размер расчетной сетки 50х50х50, CFL 30, $S=0,07068375$ м².

Моделирование

1. Методология проведения эксперимента представлена в Приложении 1.

Справочные материалы

1. Уравнение для силы X- силы аэродинамического (лобового) сопротивления:

$$X = C_x \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot S$$

где:

- C_x — коэффициент аэродинамического (лобового) сопротивления,
- ρ — плотность среды (кг/м^3),
- V — скорость (м/с),
- X — сила аэродинамического (лобового) сопротивления (Н),
- S — площадь поперечного сечения (м^2).

2. Уравнения для C_x -коэффициент аэродинамического (лобового) сопротивления:

$$C_x = \frac{2X}{\rho v^2 S}$$

где:

- C_x — коэффициент аэродинамического (лобового) сопротивления,
- ρ — плотность среды (кг/м^3),
- V — скорость (м/с),
- X — сила аэродинамического (лобового) сопротивления (Н),
- S — площадь поперечного сечения (м^2).

3. Уравнение для Q — скоростной напор:

$$Q = \frac{\rho v^2}{2}$$

где:

- ρ — плотность среды (кг/м^3),
- V — скорость (м/с),
- Q — скоростной напор (Па).

Представление и анализ результатов

1. Определите силу лобового сопротивления, действующую на модель при угле атаки набегающего потока $\alpha = 0^\circ$.
2. Проверьте достоверность модели путем численного расчета коэффициента лобового сопротивления на заданном угле атаки.
3. Результат внесите в таблицу (Таблица 1).

Таблица 1 - Итоги расчета

Данные	Результат
$C_{(x)}$ – коэффициент лобового сопротивления	
$F_{(x)}$ – сила лобового сопротивления	
Q - скоростной напор	
Угол атаки	

Третий этап: Программирование полетного задания беспилотного летательного аппарата.

3.1 Необходимо запрограммировать полетное задание для БПЛА-мультироторного типа с помощью блочного программирования или текстового программирования.

3.2 БПЛА мультироторного типа должен совершить полет согласно маршруту (Рисунок 5)

3.3 Вводные данные:

- Полетной зоной является сборная конструкция, затянутая по периметру и в верхней части сеткой с размерами 6мх6мх6м.
- Размер зоны «Взлета/посадки» – 40х40 см.
- Размер ворот на штативе: Высота 50 см, ширина 50 см, штатив высотой 50 см.
- Размер ворот: Высота 50 см, ширина 50см.
- Размер колец: Диаметр 45 см.

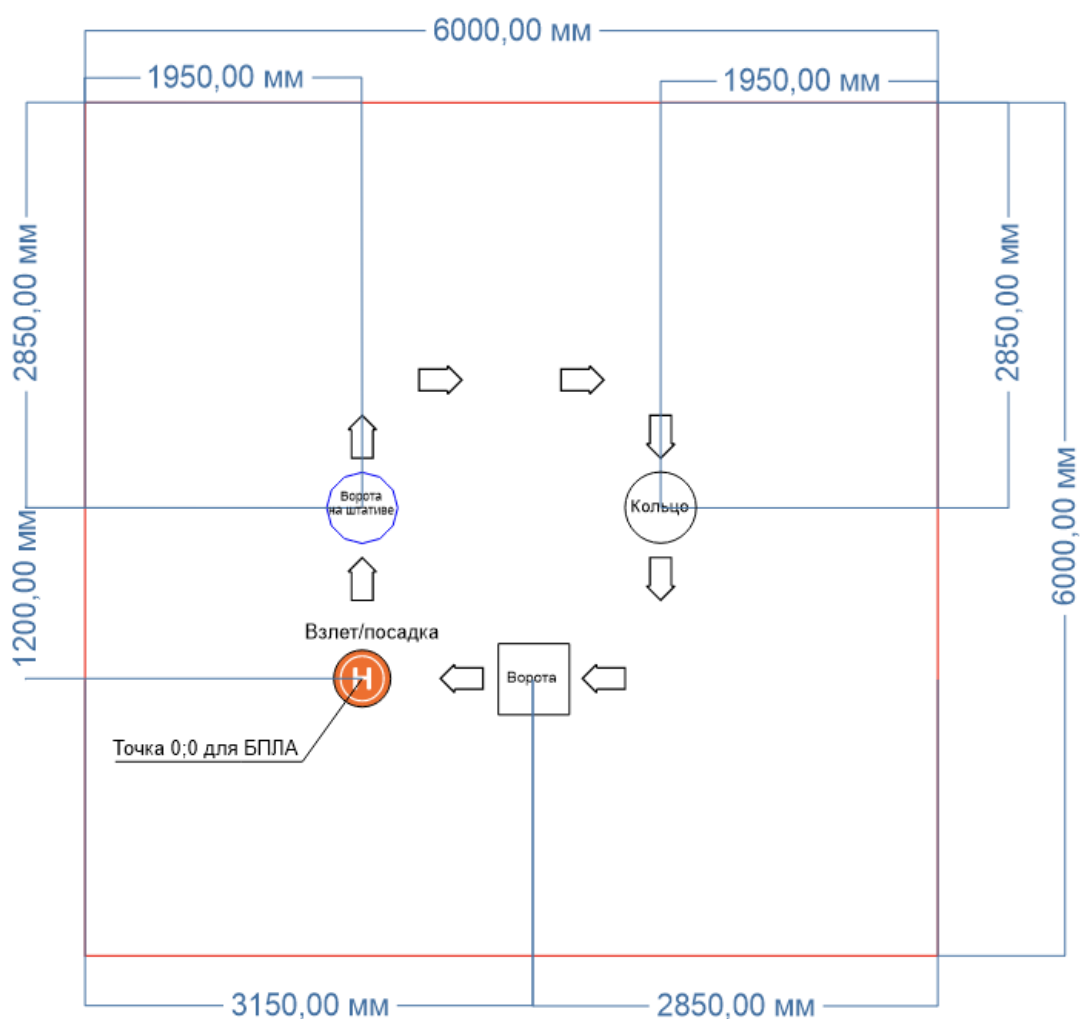


Рисунок 5. Маршрут БПЛА мультироторного типа

Критерии оценки

№ п/п	Критерии оценки	Макс. балл	Балл
1	Выполнение эскиза с силами и векторами	3	
1.1	По 3D модели создан эскиз, где главный вид - слева	0,5	
1.2	На эскизе указаны физические силы и векторы, действующие на модель при заданных условиях (да - 2 балла, частично - 1 балл, нет – 0 баллов)	2	
1.3	Эскиз сохранен в верном формате -PDF	0,5	
2	Работа в системе расчета	14	
2.1	Смоделирован колпачок в виде конуса, согласно чертежу ПВД	3	
2.2	Правильно указана скорость 200 м/с (приложен снимок экрана)	1	
2.3	Правильно задана плотность воздуха (приложен снимок экрана)	1	
2.4	Правильно указано значение CFL (приложен снимок экрана)	1	
2.5	Правильно задана начальная расчетная сетка 50 на 50 на 50 (приложен снимок экрана)	1	
2.6	Рассчитана подъемная сила, действующая при угле атаки ветрового потока $\alpha = 0^\circ$. (приложен снимок экрана)	1	
2.7	Рассчитана сила сопротивления, действующая при угле атаки ветрового потока $\alpha = 0^\circ$ (приложен снимок экрана)	1	
2.8	Рассчитан коэффициент лобового сопротивления	1	
2.9	Рассчитан коэффициент подъёмной силы	1	
2.10	Рассчитан скоростной напор	1	
2.11	Проверена достоверность модели путем построения теоретической и расчетной зависимости подъемной силы от угла атаки (да - 2 балла, частично - 1 балл, нет – 0 баллов)	2	
3	Оценка полетного задания БПЛА	18	
3.1	Осуществил взлет на высоту не менее 30см	2	
3.2	Стабилизировался на заданной высоте согласно программе	1	
3.3	Преодолеl препятствия (по 0,5 балла за каждый)	1,5	
3.4	Достиг препятствия ворота на штативе	0,5	
3.5	Продолжил полет после преодоления препятствия ворота на штативе	0,5	

3.6	Достиг препятствия кольцо	0,5	
3.7	Продолжил полет после преодоления препятствия кольцо	0,5	
3.8	Достиг препятствия ворота	0,5	
3.9	Продолжил полет после преодоления препятствия ворота	0,5	
3.10	Осуществил первый правый поворот на 90	1	
3.11	Осуществил второй правый поворот на 90	1	
3.12	Осуществил третий правый поворот на 90	1	
3.13	Осуществил посадку в заданной зоне	3	
3.14	Загружено полетное задание на БПЛА мультиро- торного типа	0,5	
3.15	Время от взлета до посадки составило не более 540 секунд	2	
3.16	Полетное задание составлено (полностью верно 2 балла, частично 1 балл)	2	
	Итого	35	

Подписи жюри:

Пример алгоритма работы в приложении «KompasFlow»

1. Открыть интегрированное в программу «КОМПАС-3D» приложение «KompasFlow».
2. Перейти в раздел «Создать Деталь».
3. В Элементах тела выбрать «Параллелепипед по точке и трем размерам» (если этот элемент тела отсутствует, то необходимо создать трехмерную модель, с которой в дальнейшем предстоит работать.). В работе с этим элементом тела можно создать сферу, параллелепипед и цилиндр. В данном случае, необходимо в параметрах выбрать «Сфера» и выставить координаты (X:0 Y:0 Z:0).
4. Сохранить «Сферу» в формате базовой детали (*.m3d)
5. Открыть на панели задач вкладку «Конструктор инструментальной области» и перейти в «KompasFlow»(рис.1).

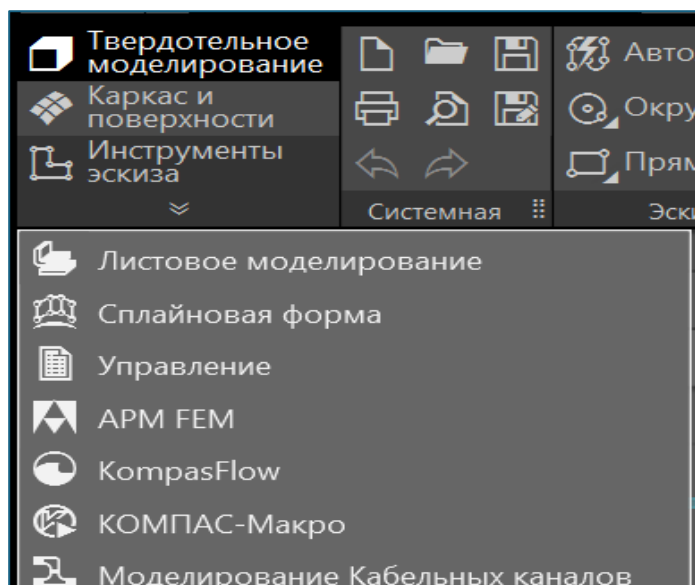


Рисунок1

6. Для начала работы в «KompasFlow» необходимо нажать на профиль «Создать» на панели задач. На этом этапе уже можно производить расчёт для аэродинамических задач, связанных с трехмерной моделью, созданной и сохраненной в начале.
7. Параметры выделенного элемента KompasFlow отображаются и задаются в панели свойств (рис. 2). Значения параметров в панели свойств вводятся в текстовые поля либо выбираются из выпадающего списка. В глобальных параметрах проекта задаются вектор гравитации, опорные давление и температура и геометрическая точность.

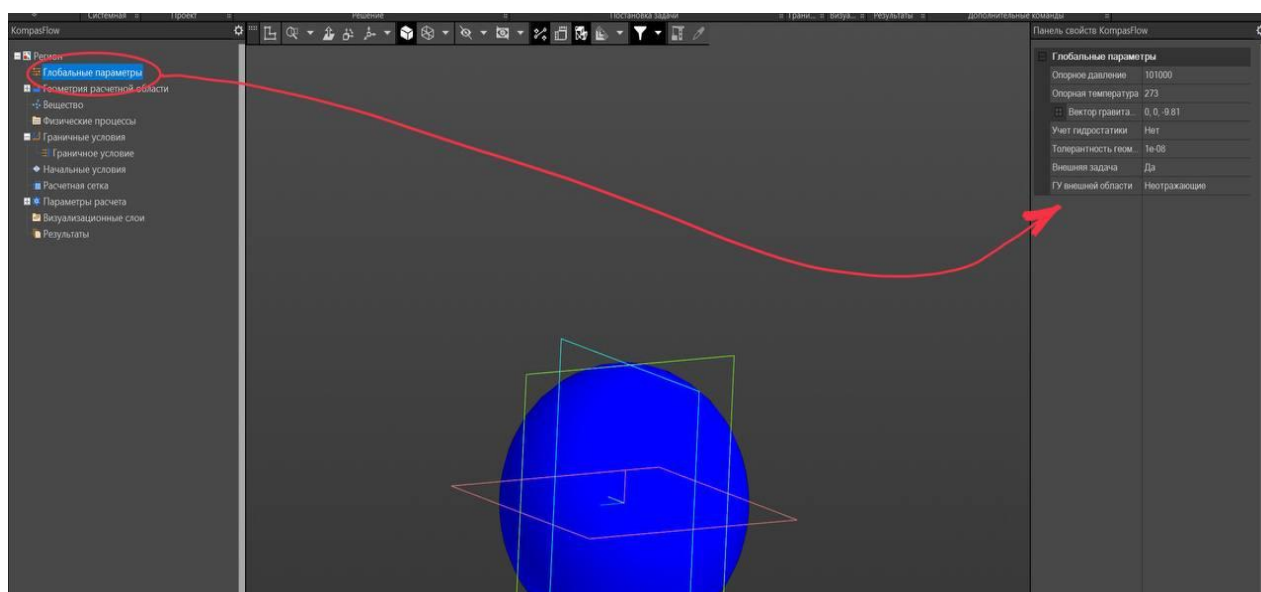


Рисунок 2

Параметр	Описание
Опорное давление	<p>Опорное значение давления P_{ref}, [Па] и опорное значение температуры T_{ref}, [K].</p> <p>Во многих случаях изменения давления и температуры в поле течения, обусловленные гидродинамическими причинами, значительно меньше, чем абсолютные величины давления и температуры. Поэтому для повышения точности расчета целесообразно представить абсолютные значения давления и температуры в виде сумм опорной и относительной величин:</p> $P_{abs} = P_{ref} + P$
Опорная температура	$T_{abs} = T_{ref} + T$
Вектор гравитации> X	Компоненты вектора гравитации вдоль координатных осей X, Y, Z, [$мс^{-2}$]
Вектор гравитации> Y	
Вектор гравитации> Z	
Толерантность геом. выч.	Толерантность геометрических вычислений, т.е. точность, с которой определяются геометрические параметры (координаты точек геометрических объектов в проекте). Значение по умолчанию 10^{-8} .

8. Нажать в поле **«Вектор гравитации»** на **«+»** и ввести значение координаты, направленной к Земле относительно расположения объекта **Z: -9.81** (поскольку стандартное значение ускорения свободного падения на Земле $g = 9,81$).

9. В параметре **внешних задач** выставить значение **«Да»**.

10. В области панелей управления КОМПАС-3D во вкладке **«KompasFlow»** представлены элементы, называемые также **«Дерево проекта»** (рис. 3).

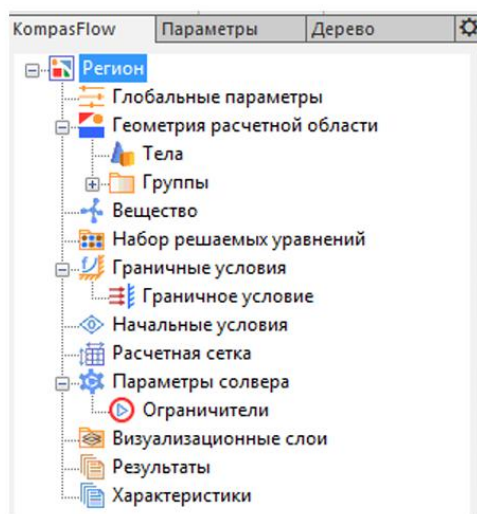


Рисунок 3

В дереве проекта располагается папка **«Геометрия расчетной области»**, содержащая подпапки **«Тела»** и **«Группы»**. Если тело состоит из нескольких частей, в папке **«Тело»** будут отображены все части. Здесь можно определить, какое тело будет основным расчетным объемом, а какое будет вставкой, изменяющей расчетный объем. Папка **«Группы»** содержит элементы **«Группа #N»** (рис.4), соответствующие граням поверхностей. Если у детали несколько граней, например 9, представленных в дереве проекта элементами, то необходимо создать: **«Группа #1», «Группа #2», ... «Группа #9»**. В свойствах элементов **«Группа N»** необходимо задать установленные на них Граничные условия.

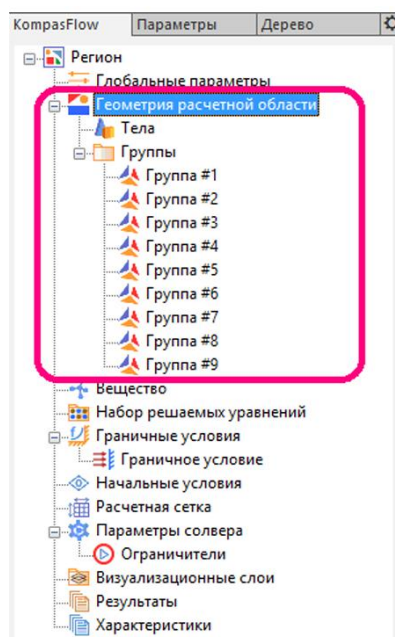


Рисунок 4

11. Параметры моделируемого вещества задаются в панели свойств элемента **Вещество** в дереве проекта KompasFlow(рис. 5). Например, если моделируется набегающий поток воздуха, то во вкладке «KompasFlow» нажатием правой кнопки мыши необходимо выделить элемент **«Вещество» - «Задание свойств Вещества»**: вещество: **«Воздух»**, фаза: **«Газовая (равновесная)»**.

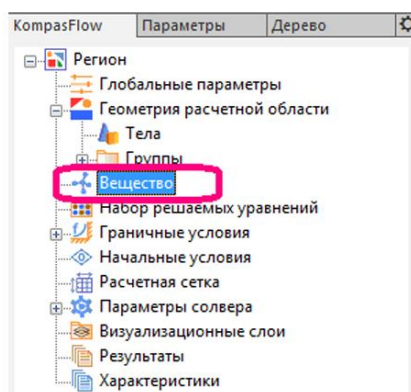


Рисунок 5

12. Физические процессы и их настройки задаются в панели свойств элемента **«Физические процессы»** в дереве проекта «KompasFlow»: **«Задание свойств Физического процесса»**: **«Турбулентность»**: можно поставить значение **«Да»**. **«Уравнение теплопереноса»**: можно установить значение **«Да»** (теплопроводности и естественной конвекции) в программе «KompasFlow» нужно для моделирования теплообмена и теплопередачи в газе, жидкостях и твёрдых телах).

«**Граничные условия**»: моделирование всего бесконечного пространства невозможно, поэтому оно ограничено некоторой расчетной областью, на границах которой нужно настроить граничные условия, адекватно описывающие пространство за пределами расчетной области (см. «Подробности и описание интерфейса» в разделе «Граничные условия»). В «KompasFlow» реализованы следующие «Граничные условия» (ГУ):

- Симметрия Стенка;
- Вход/Выход;
- Свободный выход;
- Неотражающее.

Граничные условия устанавливаются на гранях модели, представленных элементами «**Геометрия расчетной области**» > «**Группы**» > «**Группа #N**». Первоначально на всех поверхностях геометрической модели устанавливается ГУ типа Стенка с именем Граничное условие (см. рис.6). Например, можно добавить «**Граничное условие**» (+). В качестве дополнительного условия указать шероховатость поверхности (в мкм).

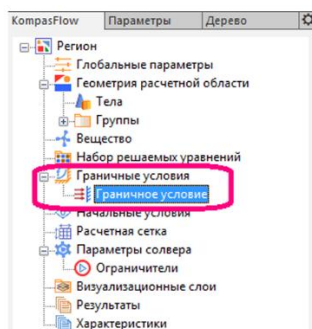


Рисунок 6

13. Начальные условия применяются, чтобы задать значения моделируемых величин в расчетной области в начальный момент времени.

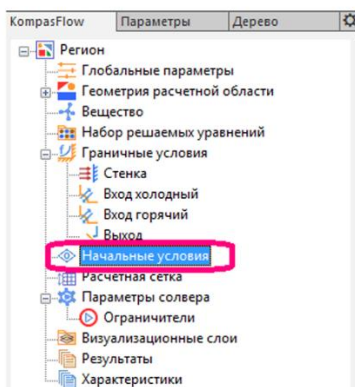


Рисунок 7

По умолчанию все переменные в начальный момент имеют нулевые значения:

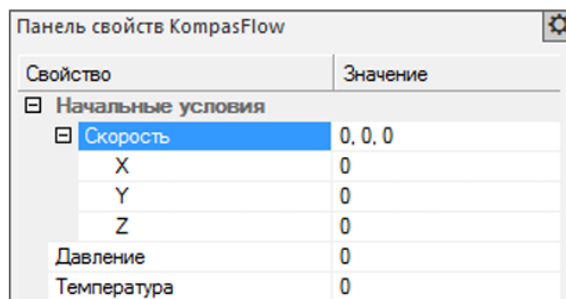


Рисунок 8

Задание ненулевых начальных условий позволяет ускорить сходимость решения (например, в задачах внешнего обтекания удобно задавать начальное поле скорости, соответствующее скорости набегающего потока).

Задание свойств «Начальных условий»: для расчета аэродинамических задач необходимо указать скорость и направление набегающего потока. Например, можно выставить скорость на одну из координат со значением: **-200**.

14. **«Расчетная сетка»**ограничивает область проведения симуляции. Размер расчетной сетки автоматически изменяется и подстраивается под размер исследуемого объекта. Рекомендуется устанавливать размер расчетной области в 2-3 раза больше исследуемого объекта. В начальной сетке выставляем показатель **«Да»** в поле **«Адаптация по решению»**(рис. 9).

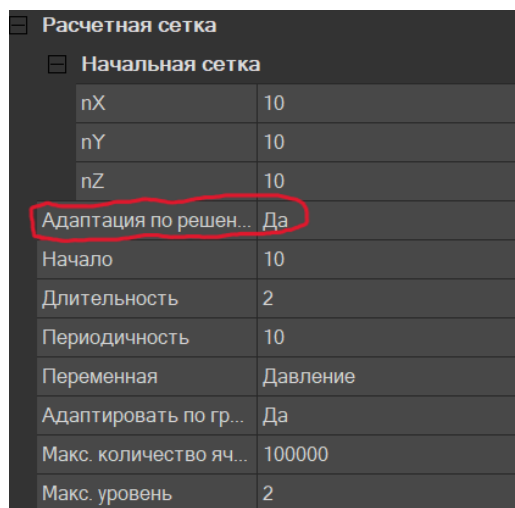


Рисунок 9

«Адаптация». Способ измельчения начальной сетки у поверхности геометрической модели. Адаптация приводит к измельчению ячеек, путем деления сетки пополам по каждому направлению вдоль осей X, Y, Z (поэтому одно разбиение делит ячейку на 8 частей).

«Уровень адаптации» - число последовательных разбиений ячеек сетки. Чем больше уровень, тем мельче будут ячейки. Чем меньше размер таких ячеек, тем лучше разрешение пространства сеткой. В объеме каждой ячейки все физические величины считаются постоянными в рассматриваемый момент времени.

«Слой адаптации» – количество слоев одного уровня адаптации. Этот параметр позволяет распространять адаптацию на некотором расстоянии от поверхности, на которой она задана (в направлении нормали к этой поверхности).

Адаптация задается в элементах «Расчетная сетка» > «Правая кнопка мыши» > «Адаптация#N» в дереве проекта «KompasFlow» (рис.10).

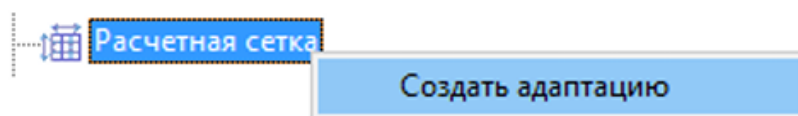


Рисунок 10

В дереве проекта появится элемент «Адаптация #1» (рис. 11)

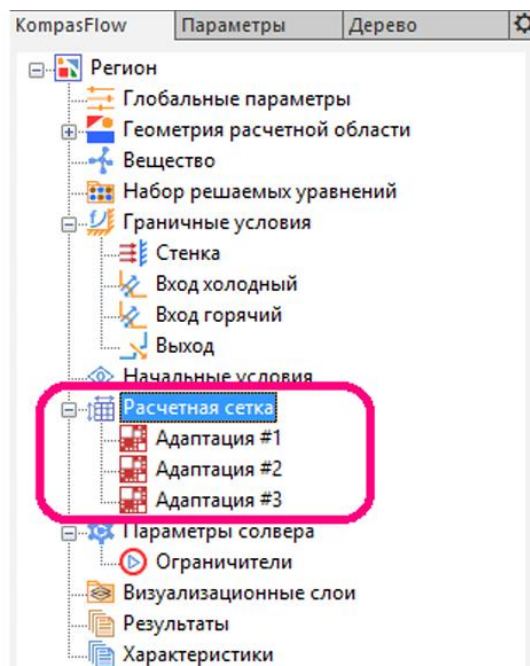


Рисунок 11

Необходимо задать следующие параметры «Адаптации #1» в ее панели свойств:

- Активно = «Да» (необходимо оставить неизменным значение, применяемое по умолчанию);
- ГУ = «ГУ»;
- Уровень = 2;

- Количество слоев = **3** (необходимо оставить неизменным значение, применяемое по умолчанию).

15. Параметры расчета настраиваются в панелях свойств элементов «Параметры расчета» > «Ограничители». Не допускается изменение параметров элемента «Параметры расчета» > «Ограничители», заданных по умолчанию. Чаще всего «Ограничители» применяются при расчете сверхзвуковых потоков для сглаживания негативных численных эффектов (рис. 12).

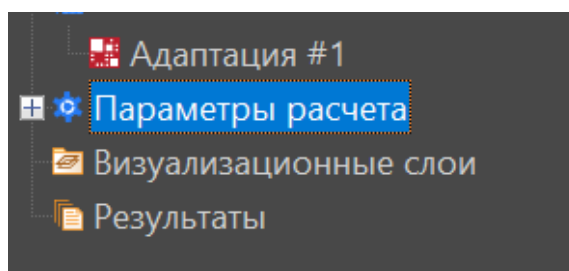


Рисунок 12

16. **«Визуальные слои».** Для настройки отображения результатов расчета используются следующие папки дерева проекта:

- **«Визуализационные слои»** (содержит элементы Слой #N);
- **«Результаты»** (содержит элементы «Результат #N»);
- **«Характеристики»** (содержит элементы «Характеристика #N»).

Изображения **Слоев** отображаются в графической области окна КОМПАС-3D (см. «Визуальное наблюдение слоев в ходе расчета»).

Графики с **«Результатами»** отображаются в «Окне мониторинга» (см. «Просмотр данных» в Окне мониторинга).

Данные **«Характеристик»** отображаются в их панелях свойств (см. «Просмотр информации» из «Характеристик»).

Для визуализации результатов расчета применяются **«Слои визуализации»**. Каждый такой слой представлен в дереве проекта как дочерний элемент **«Слой #N»** в папке **«Визуализационные слои»**:

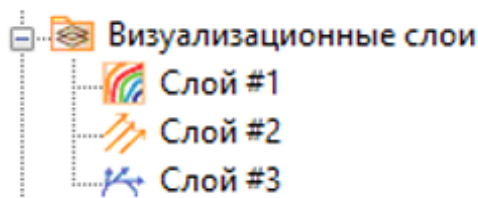


Рисунок 13

Слои строятся в объеме, на плоскостях или на геометрических поверхностях. Для создания **«Слоя#1»** необходимо указать параметры (рис. 14).

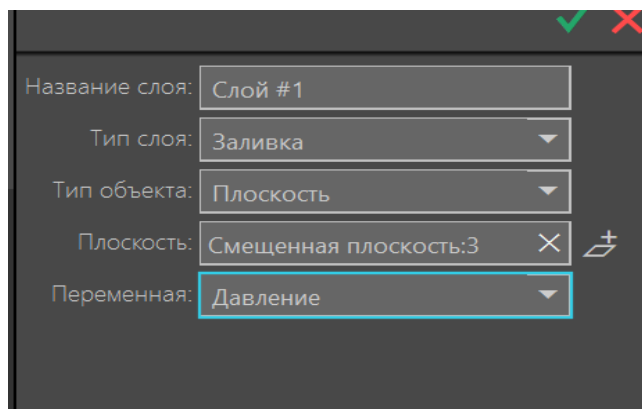


Рисунок 14

Для просмотра воздействия внешних сил можно создать несколько визуальных слоев, которые помогут наглядно увидеть происходящие процессы. Например, можно добавить «Слой#2» (рис.15).

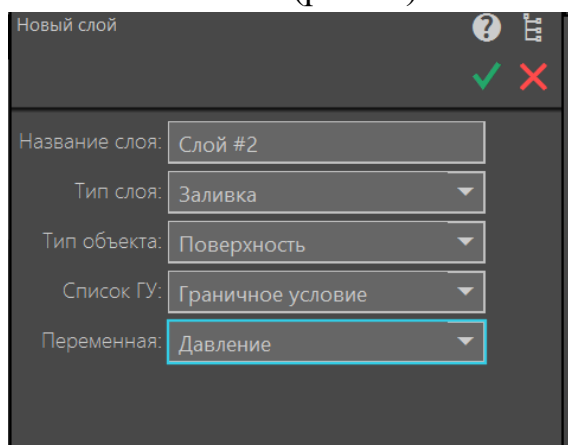


Рисунок 15

17. Элементы «Результат#N» применяются для вычисления интегральных величин. В дереве проекта они располагаются в папке «Результаты» (рис.16)

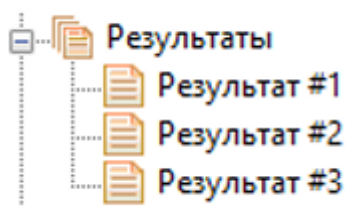


Рисунок 16

После запуска расчета графики результатов в зависимости от времени отображаются в «Окне мониторинга» (рис.17).

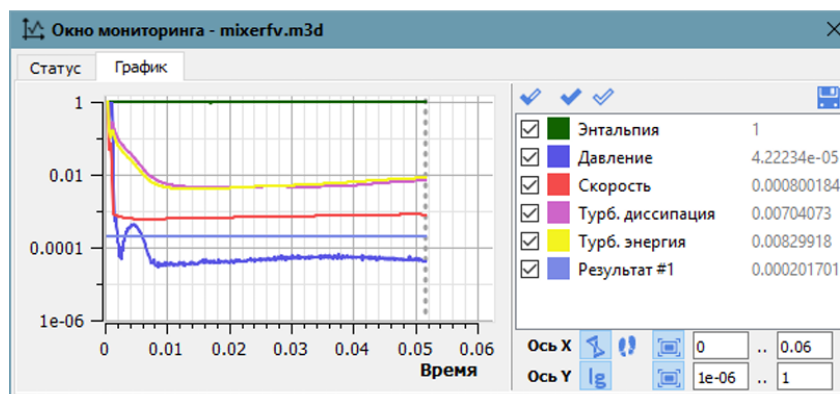


Рисунок 17

Графики результатов удобно использовать для оценки сходимости решения. Например, когда среднее давление перестанет меняться, можно судить о том, что решение сошлось и дальнейший расчет не имеет смысла.

Необходимо создать для шара «**Результат#1**», вычисляющий давление на поверхности шара. В качестве результата указываете показатель «**Сила**». В качестве компонента выбираете одну из осей, а Объектом является Тело. В выборе тела необходимо указать «Объект исследуемым».

18. В панели инструментов необходимо сохранить параметры и выполнить «**Запуск расчета**», путём нажатия соответствующей кнопки.