

# CutFlow

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

РК	– Расчётный код
ПТП	– Противотурбулентная присадка

# 1. Установка и запуск

Для запуска требуется среда выполнения C++, которую можно скачать по адресу <https://go.microsoft.com/fwlink/?LinkId=746572>

Синтаксис:

`PyHyCarSim.exe` [входной файл]

По умолчанию входным файлом считается 'input.py'.

При работе записывается лог-файл 'HyCarSim.log'

## 2. Общие сведения о входных и выходных файлах

### 2.1. Входные файлы

В настоящее время ввод данных реализован на языке программирования Python3. Это удобно на начальных стадиях разработки, чтобы минимизировать изменения чтения входного файла при добавлении новой функциональности. Ввод может показаться излишне сложным, но именно так достигается наибольшая гибкость при разработке и тестировании

### 2.2. Выходные файлы

Текстовый выходной файл включает в себя срезы переменных в каждом объекте по времени. Файлы формируются как в формате .dat, так и в бинарном виде.

## 3. Формат входных файлов

### 3.1. Структура файла исходных данных

Входной файл состоит из следующих частей:

- 1) импорт пакетов Python3, включая сам код:

```
import HyCarSim as hcs
```

```
import math
```

- 2) Создание переменных (в данном случае это свойства жидкости и шлама):

```
fluid = hcs.FluidProperties(K = 6.3e-3, rho0 = 700, Bf = 1e-10, tau0 = 1, n = 0.72)
```

```
solid = hcs.SolidProperties(Rho_sub = 1000.0, mus = 6.3e-3, rho0 = 900, Bs = 1e-10)
```

```
substrate = hcs.SubstrateProperties(Rho_sub = 1800.0, Cp = 0.879, thermal_cond = 0.2)
```

- 3) Задание различных параметров

```
out_param = hcs.OutputParameters(DepFactor = 0.0, EntrFactor = 0.0)
```

- 4) Задание типа решателя и передача ему свойства флюида и шлама

```
solver = hcs.UpwindSolver(fluid,solid)
```

- 5) Далее каналы и грани условия связываются в единую сеть. Данные передаются в решатель

```
solver.traverse_simple_circuit(units = [
```

```
    hcs.PressureBoundaryCondition(name = 'bc_left', value = 110000),
```

```
    hcs.Channel(name = "channel", parts = [
```

```
        hcs.ChannelPart( length = 1, ncells = 10, roughness = 0, sine =  
math.sin(math.radians(0)), diameter = 0.1, boer_diam = 0.02, eccentricity = 0.01,  
substrate_area = 0.0) ],
```

```
    hcs.PressureBoundaryCondition('bc_right', lambda t: 100000)
```

```
]);
```

- 6) наконец, производится запуск расчета:

```
solver.compute_all(time = 5, dt = 1e-3, delta = 1, path_text = 'output_testP.dat',  
path_binary = 'output_testP.bin')
```

Если отсутствует параметр **path\_text**, то запись текстового файла не ведется, аналогично для бинарного файла.

## 3.2. Список объектов ввода

Входными объектами являются модельные объекты, которые задают расчетную область и позволяют моделировать основные объекты: скважину, трубопровод или замкнутый контур (Таблица 3.1). В качестве объектов расчетной области выступает канал, правое и левое граничное условие, а также объект, задающий насос. Входными являются объекты, описывающие свойства флюида, твердой фазы и подложки (Таблица 3.2), различные входные параметры (Таблица 3.3), а также сервисные объекты, осуществляющие вспомогательные функции (Таблица 3.4): запуск расчета, связывание объектов в единую сеть, задание переменных, зависящих от времени.

Таблица 3.1 – Список объектов ввода РК, расчетную область

Имя блока	Описание блока
hcs.Channel	Канал.
hcs.PumpBoundaryCondition	Насос
hcs.PressureBoundaryCondition	Гидравлическое граничное условие по заданному давлению
hcs.ImposedMassFlowBoundaryCondition	Гидравлическое граничное условие по заданному расходу на границе

Объекты, описывающих флюид, позволяют задавать свойства теплоносителя, в том числе при наличии ПТП, а также свойства шлама в потоке флюида.

Таблица 3.2 – Список объектов ввода РК, описывающих флюид и его свойства

Имя блока	Описание блока
hcs.FluidProperties	Определение свойств флюида
hcs.SolidProperties	Определение свойств твердой фазы (шлама)
hcs.SubstrateProperties	Определение свойств подложки
hcs.PipeDragReducedFluidProperties	Определение свойств флюида с ПТП

Таблица 3.3 – Список объектов ввода РК, описывающих входные параметры

Имя блока	Описание блока
hcs.OutputParameters	Определение входных параметров

Таблица 3.4 – Список сервисных объектов ввода РК

Имя блока	Описание блока
hcs.UpwindSolver	Определяет метод, используемый для расчета
solver.traverse_simple_circuit	Связь элементов единую сеть
solver.compute_all	Запуск расчета
hcs.PythonDoubleFunctor1	Задание параметра, зависящего от времени

### 3.3. Ввод связей элементов, задающих расчетную область

Связь каналов задается путем их последовательного перечисления. Связь, заданных объектов, в единую сеть осуществляется командой: `solver.traverse_simple_circuit`. В качестве аргумента метод принимает список объектов ввода через запятую.

### 3.4. Описание ввода объектов для задания расчетной области

Таблица 3.5 – Атрибуты объекта hcs.Channel

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
name	CHAR	Задает имя канала	-----	name='channel'

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
parts	CHAR	Задаёт части канала	-----	<pre>parts = [   hcs.ChannelPart( length = 1, ncells = 10, roughness = 0, sine = math.sin(math.radians(0)), diameter = 0.1, boer_diam = 0.02, eccentricity = 0.01, substrate_area = 0.0) ]</pre>
heatstruct	CHAR	Задаёт обменную структуру для моделирования теплообмена с затрубным пространством	-----	<pre>heatstruct = [   hcs.HeatStruct(connections = [   hcs.Connections("Part_1", "Part_8"),   hcs.Connections("Part_2", "Part_7"),   hcs.Connections("Part_3", "Part_6"),   hcs.Connections("Part_4", "Part_5")])]</pre>

Таблица 3.6 – Атрибуты объекта hcs.ChannelPart

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
name	CHAR	Задаёт имя секции канала	-----	name='Part_1'

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
length	REAL	Задаёт длину канала в метрах. Может быть постоянным значением. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunction1</code>	[1.e-10, ∞]	length = 1.0
ncells	INT	Задаёт число расчетных ячеек для канала	[1, 1000000]	ncells = 5
sine	REAL	Задаёт синус угла наклона канала относительно горизонта. Может быть постоянным значением. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunction1</code>	[-1, 1]	sine = 0



Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
diameter	REAL	Задаёт диаметр канала в метрах. Может быть постоянным значением. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunction1</code>	[1.e-10, ∞]	diameter = 0.3
diameter1 и diameter2	REAL	Задаёт коническую трубу с входным диаметром diameter1 и выходным diameter2 в метрах. При наличии параметра diameter значения diameter1 и diameter2 игнорируются	[1.e-10, ∞]	diameter1 = 0.3, diameter2 = 0.2
roughness	REAL	Задаёт шероховатость стенок канала в см	[0, ∞]	roughness = 0
boer_diam	REAL	Задаёт диаметр бура в метрах	boer_diam < diameter	boer_diam = 0.0
eccentricity	REAL	Задаёт эксцентриситет кольцевого канала, образованного буром и каналом	[0, 1]	eccentricity = 0.0

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
solid_conc	REAL	Задаёт начальную концентрацию шлама во флюиде	[0, ∞]	solid_conc = 0.0
fluid_temp	REAL	Задаёт начальную температуру флюида	[0, ∞]	fluid_temp = 300
solid_temp	REAL	Задаёт начальную температуру шлама	[0, ∞]	solid_temp = 300
substrate_area	REAL	Задаёт начальную площадь подложки	[0, ∞]. Должно быть меньше площади канала. Контролируется пользователем	substrate_area = 0.0
substrate_temp	REAL	Задаёт начальную температуру подложки	[0, ∞]	substrate_temp = 300
wall_temp	REAL	Задаёт начальную температуру стенки	[0, ∞]	wall_temp = 300
angular_velocity	REAL	Задаёт угловую скорость вращения буровой колонны	[0, ∞]	angular_velocity = 0.0
rocks_parts	CHAR	Задаёт слои горных пород	-----	rocks_parts=[ hcs.RocksPart(temp=350 .0, thermal_cond=0.7, diameter = 1000.0)]

Задание объекта `hcs.RocksPart` обязательно для каждой секции(`hcs.ChannelPart`). Теплообмен с горными породами моделируется только в случае, если для объекта `hcs.ChannelPart` задан атрибут `wall_temp = 0`, иначе моделируется теплообмен со стенкой канала.

Таблица 3.7 – Атрибуты объекта `hcs.RocksPart`

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
<code>temp</code>	REAL	Задаёт температуру породы, К	[0, ∞]	<code>temp = 350</code>
<code>thermal_cond</code>	REAL	Теплопроводность породы, Вт/м <sup>2</sup> /К	[0, ∞]	<code>thermal_cond = 0.6</code>
<code>diameter</code>	REAL	Задаёт диаметр слоя породы от центральной оси канала, м.	[0, ∞]	<code>diameter = 1000.0</code>

Таблица 3.8 – Атрибуты объекта `hcs. HeatStruct`

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
<code>connections</code>	CHAR	Задаёт соединения частей канала для моделирования теплообмена	-----	<code>hcs.Connections("Part_1", "Part_8")</code>

Таблица 3.9 – Атрибуты объекта `hcs. Connections`

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
--------------	-----	------------------------------	--------------------	--------

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
firstName, secondName	CHAR	Имена частей канала для теплообмена с затрубным пространством	-----	hcs.Connections("Part_1", "Part_8")

Для моделирования теплообмена с затрубным пространством, секции канала с именами из hcs.Connections("Part\_1", "Part\_8") имели одинаковую длину и количество расчетных ячеек, необходимо согласовать параметры diameter и boer\_diam.

Во внутреннем канале: параметр diameter задает диаметр внутренней трубы, boer\_diam = 0.

Во внешнем канале: параметр diameter определяет диаметр самого ствола скважины, тогда boer\_diam – это диаметр внутренней трубы, а в случае, если канал находится на устье скважины, то boer\_diam определяет диаметр бура.

Таблица 3.10 – Атрибуты объекта hcs.PressureBoundaryCondition

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
name	CHAR	Задаёт имя граничного условия	-----	name='bc_left'
value	REAL	Задаёт значение давления на границе, Па. Может быть постоянным значением. Может зависеть от времени при задании функции с помощью hcs.PythonDoubleFuncor1	[0, ∞]	value = 110000
lambda t	REAL	Задаёт значение давления на границе, изменяющегося со временем, Па	[0, ∞]	lambda t: 100000+500*t

Таблица 3.11 – Атрибуты объекта hcs.MassFlowBoundaryCondition

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
--------------	-----	------------------------------	--------------------	--------

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
name	CHAR	Задаёт имя граничного условия	-----	name='bc_left'
fluid_rate	REAL	Задаёт значение расхода жидкой фазы на границе, кг/с. Может быть постоянным значением. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunctor1</code>	[0, ∞]	fluid_rate = 5
solid_rate	REAL	Задаёт значение расхода твердой фазы на границе, кг/с. Может быть постоянным значением. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunctor1</code>	[0, ∞]	solid_rate = 0
fluid_temp	REAL	Задаёт значение температуры жидкости, К. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunctor1</code>	[0, ∞]	fluid_temp = 500
solid_temp	REAL	Задаёт значение температуры твердой фазы, К. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunctor1</code>	[0, ∞]	solid_temp = 500
frac	REAL	Задаёт объемную долю твердой фазы. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunctor1</code>	[0, 1]	frac = 0,3

Таблица 3.12 – Атрибуты объекта `hcs.PumpBoundaryCondition`

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
name	CHAR	Задаёт имя насоса	-----	Name='pump'
Kt	REAL	Коэффициент определяет инерцию насоса	[0, ∞]	Kt = 1e6
Kq	REAL	Коэффициент определяет потери на трение в насосе	[0, ∞]	Kq = 1e6
Kw	REAL	Коэффициент перед квадратом частоты вращения	[0, ∞]	Kq = 1e6
w	REAL	Частота вращения ротора насоса 1/с. Может быть постоянным значением. Может зависеть от времени при задании функции с помощью <code>hcs.PythonDoubleFunctor1</code>	[0, ∞]	w = 10

### 3.5. Описание ввода объектов для задания свойств флюида и шлама

Таблица 3.13 – Атрибуты объекта `hcs.FluidProperties`

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
--------------	-----	------------------------------	--------------------	--------

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
K	REAL	<p>Эффективная вязкость жидкости Хершля –Балкли:</p> $\tau = \tau_o + K \left( \frac{du_x}{dy} \right)^n$ <p>Если n=0, <math>\tau_o=0</math> – то K – динамическая вязкость флюида, Па·с.</p>	[0, ∞]	K=6.3e-3
tau0	REAL	<p>Нулевое напряжение сдвига жидкости Хершля –Балкли:</p> $\tau = \tau_o + K \left( \frac{du_x}{dy} \right)^n, \text{ Па}\cdot\text{с.}$	[0, ∞]	tau0 = 1
n	REAL	<p>Показатель степени для жидкости Хершля –Балкли:</p> $\tau = \tau_o + K \left( \frac{du_x}{dy} \right)^n$	[0, ∞]	n = 0.72
rho	REAL	Плотность флюида, кг/м <sup>3</sup>	[0, ∞]	rho0 = 700
Bf	REAL	<p>Изотермическая сжимаемость флюида</p> $B_f = \frac{1}{\rho_f} \left( \frac{\partial \rho_f}{\partial p} \right)_T = \frac{1}{\rho_f c_f^2}, \text{ 1/Па.}$	[0, ∞]	Bf = 1e-10
Cp	REAL	Удельная теплоемкость флюида, Дж/кг/К	[0, ∞]	Cp = 4200

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
thermal_cond	REAL	Теплопроводность флюида, Вт/м <sup>2</sup> /К	[0, ∞]	thermal_cond = 0.6

Таблица 3.14 – Атрибуты объекта hcs.SolidProperties

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
mus	REAL	Вспомогательный параметр в текущей версии. Можно задать любое значение, безразмерный.	[0, ∞]	mus=0
rho0	REAL	Плотность теплоносителя шлама в потоке флюида, кг/м <sup>3</sup>	[0, ∞]	rho0 = 900
Bs = 1e-10	REAL	Вспомогательный параметр в текущей версии. Можно задать любое значение, безразмерный.	[0, ∞]	Bs = 1e-10
Cp	REAL	Удельная теплоемкость шлама, Дж/кг/К	[0, ∞]	Cp = 4200
thermal_cond	REAL	Теплопроводность шлама, Вт/м <sup>2</sup> /К	[0, ∞]	thermal_cond = 0.6

Таблица 3.15 – Атрибуты объекта hcs.SubstrateProperties

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
--------------	-----	------------------------------	--------------------	--------



Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
Rho_sub	REAL	Плотность неподвижной подложки, кг/м <sup>3</sup>	[0, ∞]	Rho_sub = 1000.0
Cp	REAL	Удельная теплоемкость неподвижной подложки, Дж/кг/К	[0, ∞]	Cp = 4200
thermal_cond	REAL	Теплопроводность неподвижной подложки, Вт/м <sup>2</sup> /К	[0, ∞]	thermal_cond = 0.6

Таблица 3.16 – Атрибуты объекта hcs.PipeDragReducedFluidProperties

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
muf	REAL	Динамическая вязкость флюида, Па·с	[0, ∞]	muf = 6.3e-3
rho0	REAL	Плотность теплоносителя шлама в потоке флюида, кг/м <sup>3</sup>	[0, ∞]	rho0 = 900
Bf	REAL	Изотермическая сжимаемость теплоносителя $B_f = \frac{1}{\rho_f} \left( \frac{\partial \rho_f}{\partial p} \right)_T = \frac{1}{\rho_f c_f^2}, 1/\text{Па}.$	[0, ∞]	Bf = 1e-10
alpha	REAL	Фактор эластичности пристенного слоя, безразмерный.	[0, 1]	alpha = 8e-4

### 3.6. Описание ввода входных параметров

Таблица 3.17 – Атрибуты объекта hcs. OutputParameters

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
DepFactor	REAL	Фактор скорости осаждения шлама	[0, ∞]	DepFactor = 0.0
EntrFactor	REAL	Фактор скорости уноса шлама	[0, ∞]	EntrFactor = 0.0

### 3.7. Описание ввода сервисных объектов

Перед определением параметров контура заводится объект `solver = hcs.UpwindSolver(fluid, solid)`, который содержит свойства флюида и шлама.

Таблица 3.18 – Атрибуты объекта `hcs.UpwindSolver`

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
fluid	<code>hcs.FluidProperties</code>	Задание свойств флюида. Определяются до передачи в <code>hcs.UpwindSolver</code>		<code>fluid = hcs.FluidProperties(K = 6.3e-3, rho0 = 700, Bf = 1e-10, tau0 = 1, n = 0.72)</code>
solid	<code>hcs.SolidProperties</code>	Задание свойств шлама. Определяются до передачи в <code>hcs.UpwindSolver</code>		<code>solid = hcs.SolidProperties(Rho_sub = 1000.0, mus = 6.3e-3, rho0 = 900, Bs = 1e-10)</code>

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
substrate	hcs.SubstrateProperties	Задание свойств неподвижной подложки. Определяются до передачи в hcs.UpwindSolver		substrate = hcs.SubstrateProperties(Rho_sub = 1800.0, Cp = 0.879, thermal_cond = 0.2)
out_param	hcs.OutputParameters	Задание внешних параметров		out_param = hcs.OutputParameters(DepFactor = 0.0, EntrFactor = 0.0)

Далее в объекте solver задается расчетная область.

Таблица 3.19 – Атрибуты объекта solver.traverse\_simple\_circuit

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
--------------	-----	------------------------------	--------------------	--------

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
units	-	Передается список каналов и граничных условий через запятую		<pre> units = [   hcs.PressureBoundaryCondition(name =     'bc_left', value = 110000),   hcs.Channel(name = "channel", parts = [     hcs.ChannelPart( length = 1, ncells = 10,       roughness = 0, sine = math.sin(math.radians(0)), diameter = 0.1,     boer_diam = 0.02, eccentricity = 0.01,       substrate_area = 0.0) ]),   hcs.PressureBoundaryCondition('bc_right',     lambda t: 100000)   ] </pre>

После этого выполняется запуск расчета

Таблица 3.20 – Атрибуты объекта solver.compute\_all

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
time	REAL	Задаёт полное время расчета в секундах	$[0, \infty]$	time = 5
dt	REAL	Величина начального расчетного шага в секундах	$[0, \infty]$	dt = 1e-3
dtmax	REAL	Величина максимального расчетного шага в секундах	$[0, \infty]$ dt < dtmax	dtmax = 1e-1

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон изменения	Пример
delta	REAL	Величина шага по времени в секундах для вывода в выходной файл	[0, ∞]	delta = 1e-3
path_text	CHAR	Имя файла для текстового вывода (параметр может быть опущен, тогда файл не будет записываться)		path_text = 'output_testP.dat'
path_binary	CHAR	Имя файла для бинарного вывода (параметр может быть опущен, тогда файл не будет записываться)		path_binary = 'output_testP.bin'

### 3.8. Формат выходных файлов

Выходной файл содержит распределения давления, плотности, скорости флюида, плотности шлама, его концентрации, скорости, а также площади подложки по длине канала в разные моменты времени. Пример текстового выходного файла представлен на рисунке :

```

***** Time = 1*****
**** boundary-condition-const-pressure 'bc_left' ****

pressure_f (cell)
      0      100000
density_f (cell)
      0      700
velocity_f (edge)
      0      -1.62364103269693e-16
**** channel 'channel1' ****

pressure_f (cell)
      0      100000
      1      100000
      2      100000
      3      100000
      4      100000

```

Рисунок 3.1 – Пример текстового выходного файла

Первая строчка указывает время, при котором представлены значения ниже. Затем идет тип и имя объекта, затем переменные (в скобках дано место их определения) и их значения в ячейках.

Бинарный выходной файл записывается в следующем формате.

Для каждого среза по времени (срезы идут подряд):

- 1) Время среза (тип double)
- 2) Количество объектов, т.е. каналов и граничных условий (тип int32)
- 3) Для каждого канала:
  - а) имя (количество символов типа int32, следом сами символы)
  - б) число точек (int32)
  - в) массив данных (4\*число точек типа double, соответствует координате, давлению, скорости и плотности)

Пример функции чтения входного файла на языке Matlab находится в файле `scripts/matlab/ReadHyCarSimBinary.m`, пример с построением графиков находится в файле `scripts/matlab/testRead.m`.