



Съфинансирано от  
Европейския съюз



ПРОГРАМА  
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТ И  
ИНОВАЦИИ В ПРЕДПРИЯТИЯТА

# Моделиране на повдигащи системи в сметосъбирането

Михаил Муков

Интеликс инженеринг

Референция :

[1] D. Knežević and V. Savić,  
"Mathematical Modeling of Changing of Dynamic Viscosity  
, as a Function of Temperature and Pressure  
, of Mineral Oils for Hydraulic Systems,"  
Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering  
, vol. 4, no. 1, pp. 27-34, 2006.



# Моделиране на повдигащи системи в сметосъбирането

Тази презентация разглежда проблема за оценка на масата на отпадъците, изхвърляни от отделните контейнери от камион за събиране на разделни отпадъци, оборудван със стандартни повдигащи вилици както за големи контейнери от 1100 литра, така и за по-малки контейнери за отпадъци.

Основната цел е разработване на евтина система за измерване, която да може да бъде приложена към широк спектър от конфигурации на камионите с минимална модификация на хардуера.

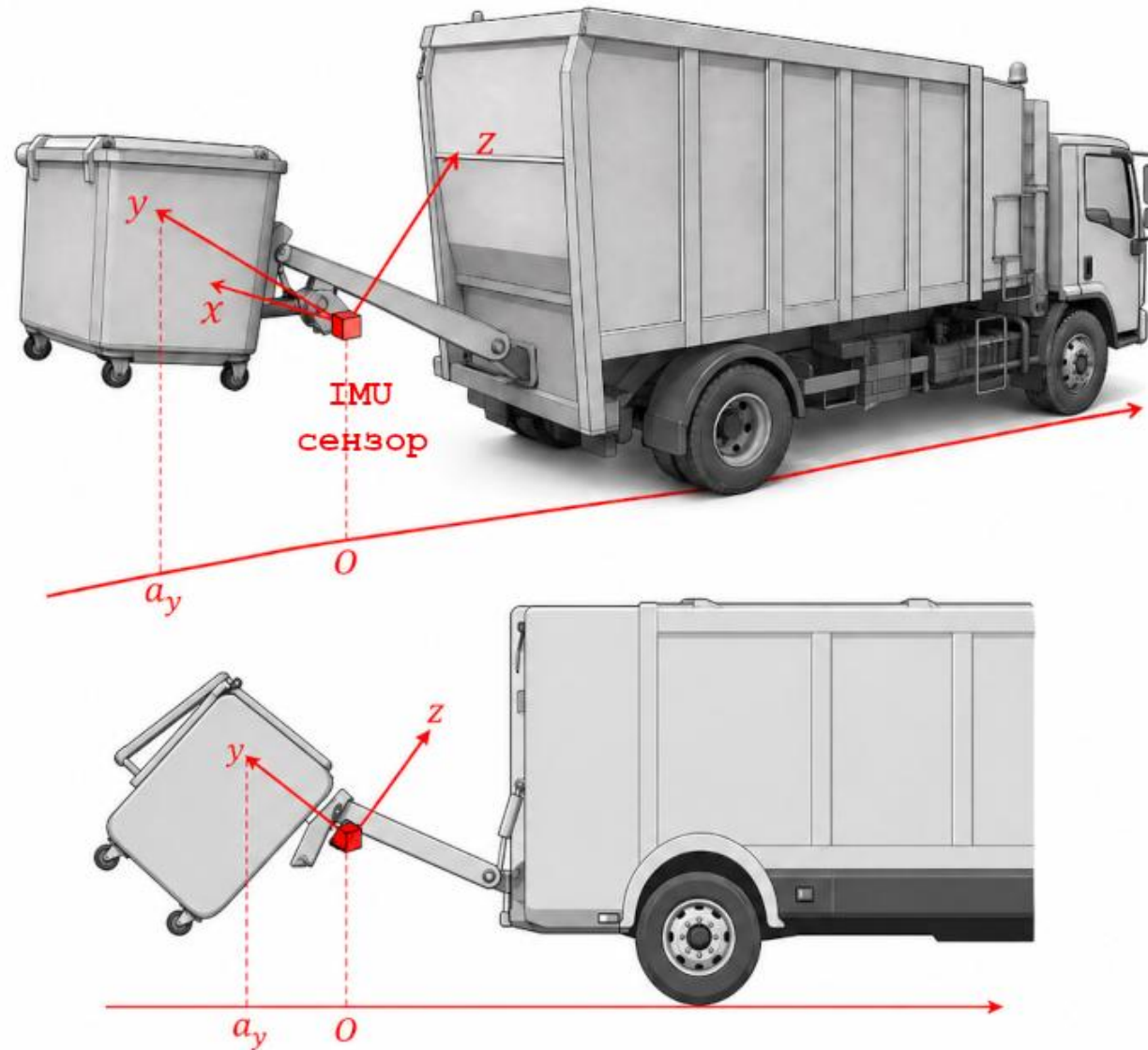
Системата комбинира датчик за налягане на маслото, инсталиран в хидравличния кръг, и стандартна смартфон инерциална измервателен сензор, фиксиран на повдигачия рамо.

Датчикът за налягане осигурява измерване за определяне на повдигащата сила, докато акселерометърът и жироскопът се използват за оценка на движението на повдигачия рамо. От тези измервания и калибрирания модел се измерва изхвърленият отпадък.

Основният фокус на презентацията е физическата и математическата структура на метода.



## Координатна система на IMU сензора





## Сурови данни

Пример от съдържанието на CVS файла:

```
ax, ay, az, gx, gy, gz, adc, adc2
311, 15150, -5460, -110, -11, 10, 124477, 126303
519, 15484, -6729, -154, 52, 17, 124478, 126314
1033, 15285, -6283, -94, 15, 11, 124470, 126282
441, 15182, -5413, -105, -9, 10, 124473, 126333
417, 15551, -6758, -139, 42, 9, 124434, 126340
1007, 15304, -6345, -96, 24, 17, 124479, 126319
456, 15128, -5402, -92, -12, 7, 124449, 126297
373, 15464, -6555, -131, 32, 17, 124449, 126255
...
```

$ax(t)$  е ускорението по оста  $x$

$gx(t)$  е скоростта на завъртна около оста  $x$ , измерена от жirosкопа

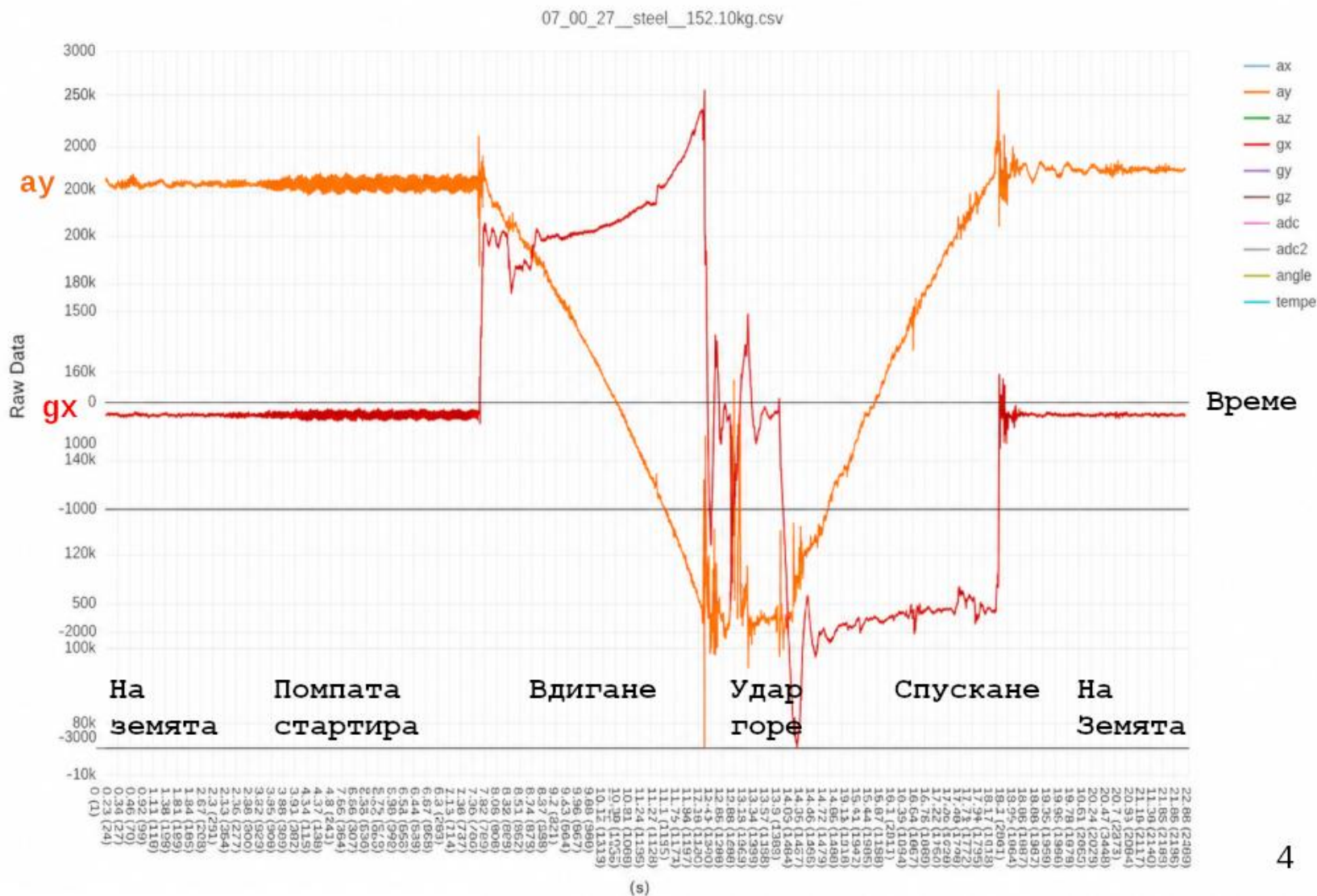
$adc(t)$  е налягането при повдигане, измерено от сензора за налягане

$adc2(t)$  е налягането при спускане от втори сензор

Всеки ред с данни представлява семпли, получени през време от 10 ms.



## Графика на суровите данни





# Ъгъл на ротация

Намиране на **статични интервали** – интервали от време без физична ротация

<code>max_gyro_value</code>	в случай без завъртане
<code>min_duration</code>	считан за валиден интервал
<code>damp_time</code>	достатъчно за затихване на вибрациите
<code>lag_time</code>	време за излизане на жиро сигнала от границата

Премахване на дрейфа на **жироскопа**.

Ориентиране на **ос x** за съвпадение с оста на въртене.

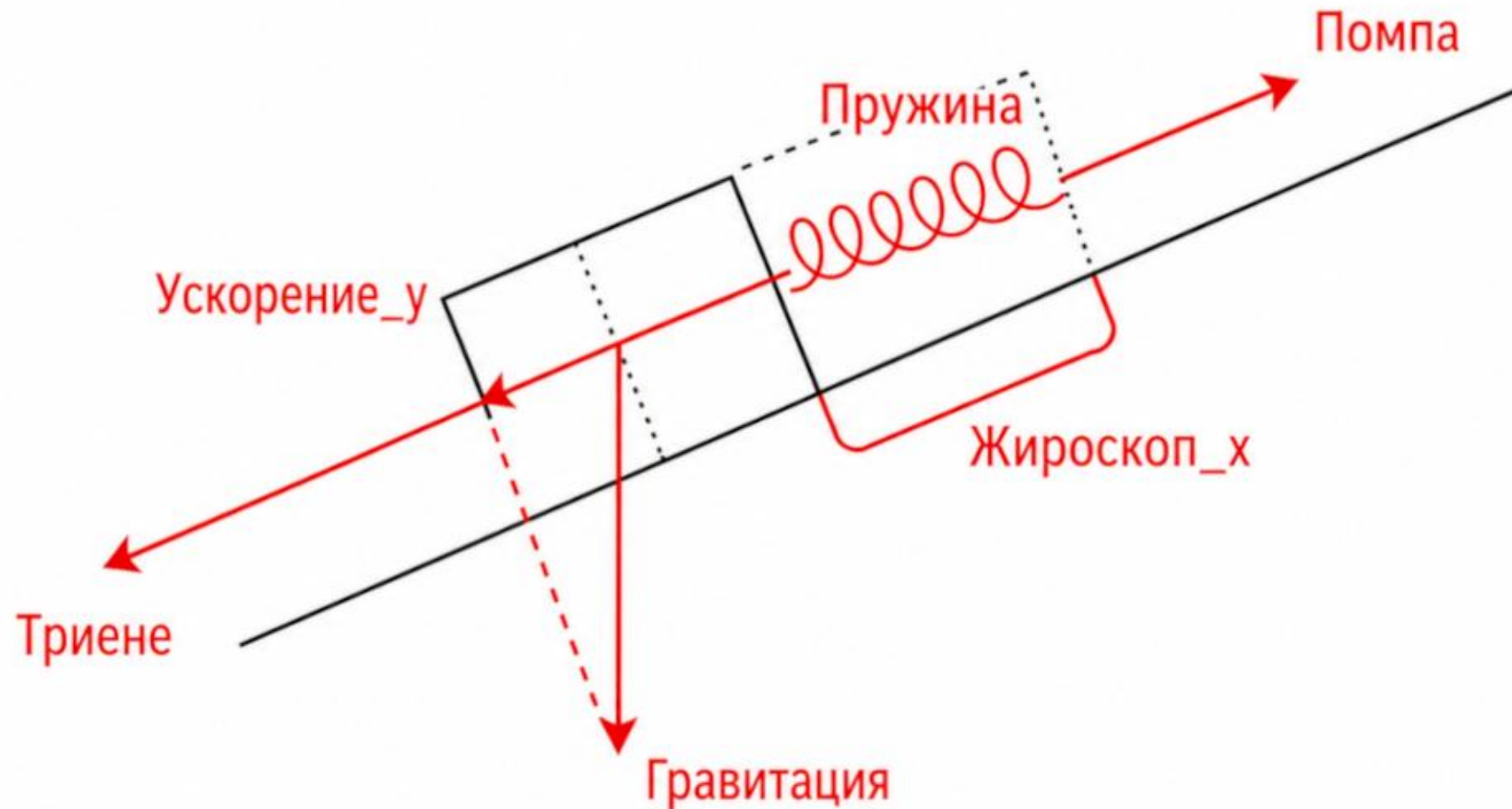
Не е константна по време на цялото движение на изхвърляне.  
За избор на ос на въртене  
, ръчно се избира интервал от графиката.

Изчисляване на **ъгли**, интегриране на **gyro ax** стойностите.

Сумиране на много малки числа с плаваща запетая.



# Физика



Работа = Сила \* Разстояние

Работа\_на\_помпата = Работа\_на\_триенето + Работа\_на\_гравитацията + Работа\_на\_вискозитета



# Параметри за настройка

## Valid\_angles

Определени от калибрационни данни.

`min_valid_angle` най-високият контейнер е повдигнат

`max_valid_angle` боклукът не се движи значително

## Orient\_mov\_angle

Ъгъл на завъртане около `ос x`, такъв че посоката на движение на геометричния център на цялата движеща се стлобка е паралелна на `ос y`.

## Smooth\_time

За премахване на ефекта на вибриращата пружина.

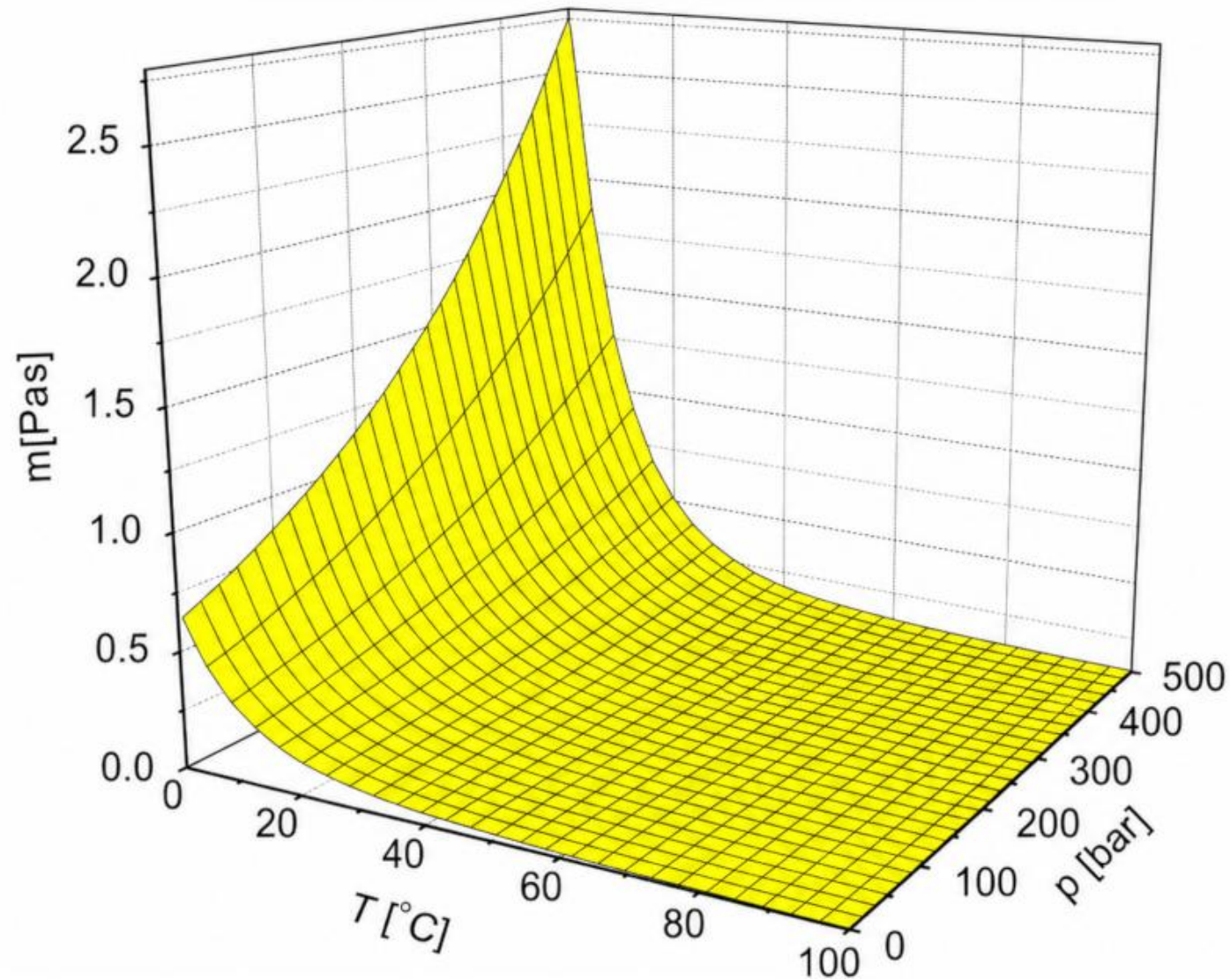


# Сили

Сила_триене	~=	Движеща_се_маса
Сила_гравитация	~=	Движеща_се_маса * Ускорение_у
Сила_вискозитет	~=	ехр( Налягане / Температура )
Сила_помпа	~=	Налягане
Движеща_маса	=	Маса_рамо_камион + Маса_товар
Работа	=	Сила * Разстояние
Разстояние	~=	Жироскоп_х
Работа	~=	Сила * Жироскоп_х



## Вискозитет на хидравличното масло





# Линейна апроксимация на вискозитета

Сила\_вискозитет  $\approx \exp(\text{Налягане} / \text{Температура})$

Сила\_вискозитет  $\approx$

Coeff\_0 +  
Coeff\_1 \* Налягане / Температура +  
Coeff\_2 \* Налягане / Температура ^ 2 +  
Coeff\_3 \* Налягане / Температура ^ 3 +  
Coeff\_4 \* Налягане / Температура ^ 4



## Физичен модел

$$\text{Работа\_триене} = (F0) * g_x + (F1) * g_x * \text{Маса\_товар}$$

$$\text{Работа\_гравит.} = (G0) * a_y * g_x + (G1) * a_y * g_x * \text{Маса\_товар}$$

$$\text{Работа\_вискоз.} =$$

$$(V0) * c1 * g_x^2 + (V1) * c1 * g_x^2 / t1 + (V2) * c1 * g_x^2 / t1^2 +$$
$$(V3) * c1 * g_x^2 / t1^3 + (V4) * c1 * g_x^2 / t1^4 +$$

$$(D0) * c2 * g_x^2 + (D1) * c2 * g_x^2 / t2 + (D2) * c2 * g_x^2 / t2^2 +$$
$$(D3) * c2 * g_x^2 / t2^3 + (D4) * c2 * g_x^2 / t2^4$$

$$\text{Работа\_помпа} = p1 * g_x + (P2) * p2 * g_x$$

$$g_x = \text{gyro.x} \quad a_y = \text{acceleration.y}$$
$$p1 = \text{lift\_pressure} \quad p2 = \text{drop\_pressure}$$
$$t1 = \text{lift\_temperature} \quad t2 = \text{drop\_temperature}$$

$$c1 = \exp( p1 / (334 + 3.2557 * t1) )$$

$$c2 = \exp( p2 / (334 + 3.2557 * t2) )$$



# Коефициенти за регресионно приближение

Триене	-->	F0 F1
Гравитация	-->	G0 G1
Вискозитет	-->	V0 V1 V2 V3 V4 D0 D1 D2 D3 D4
Помпа	-->	P2

Изчислени от няколко калибрационни измервания  
за всяка настройка:

- Надолу по склон камион със студено масло.
- Нагоре по склон камион със студено масло.
- Надолу по склон камион с горещо масло.
- Нагоре по склон камион с горещо масло.

Алгоритъм за обръщане на матрица.

Сравнение на числа с плаваща запетая.



# Търсене с градиентно спускане за параметрите на настройка

## `Orient_axis_y_to_movement_angle`

Завъртане на координатната система около ос  $x$ , така че ос  $y$  е в посоката на движение на центъра на тежестта на движещата се маса.

## `Smooth_time`

Размерът на прозореца за изглаждане на суровите сигнални данни, така че ефектите от осцилацията на пружината да се изчистят.

## `Mesurement_angle_begin_angle`

## `Mesurement_angle_angle_length`

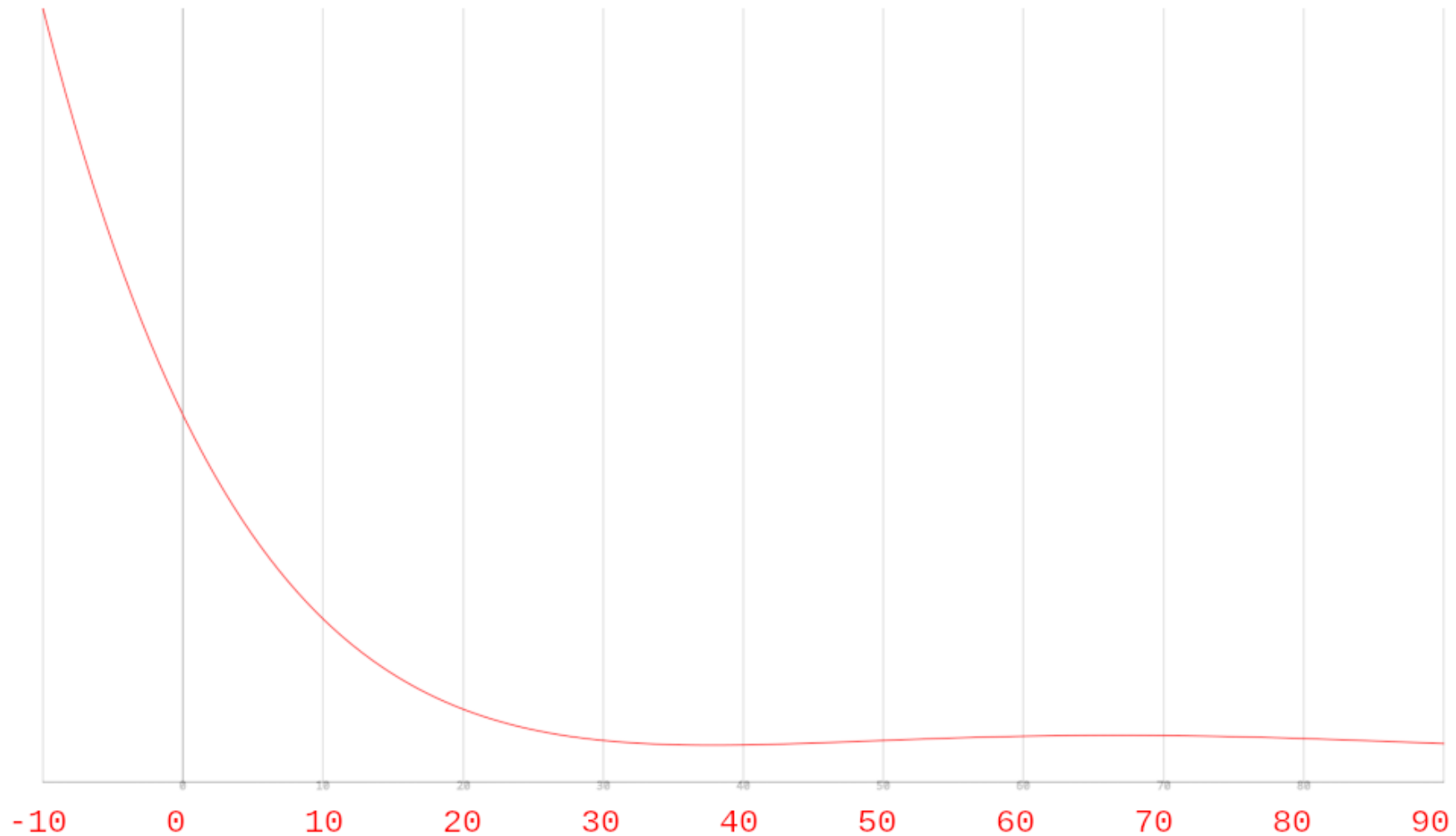
Ъгловият интервал, където се изчислява физическият модел. Вътре в `valid_angles`.

## `Temperature_delay`

Забавяне на суровия температурен сигнал така че времето, необходимо за нагряване и охлаждане на термометъра, да се отчете.



## Крива на приближение на вискозитета



температура в градуси целзий

14





## Резултати

Реална маса Грешка Име на Csv

248.05	-6.07	uphill__steel_12__248.05kg__hot.angle.csv
211.45	1.03	uphill__steel_08__211.45kg__hot.angle.csv
174.85	2.74	uphill__steel_04__174.85kg__hot.angle.csv
138.25	-3.21	uphill__steel_00__138.25kg__hot.angle.csv
138.25	.22	downhill__steel_00__138.25kg__hot.angle.csv
174.85	18.59	downhill__steel_04__174.85kg__hot.angle.csv
211.45	7.55	downhill__steel_08__211.45kg__hot.angle.csv
248.05	1.00	downhill__steel_12__248.05kg__hot.angle.csv
248.05	-.38	level__steel_12__248.05kg__hot.angle.csv
211.45	1.71	level__steel_08__211.45kg__hot.angle.csv
174.85	-6.54	level__steel_04__174.85kg__hot.angle.csv
138.25	-8.28	level__steel_00__138.25kg__hot.angle.csv
...		

Средна измерена грешка 3.50 kg

Общо реално 25236.60 kg

Общо измерено 25167.35 kg