



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Разыскиваются волны-убийцы

Казанков Владислав



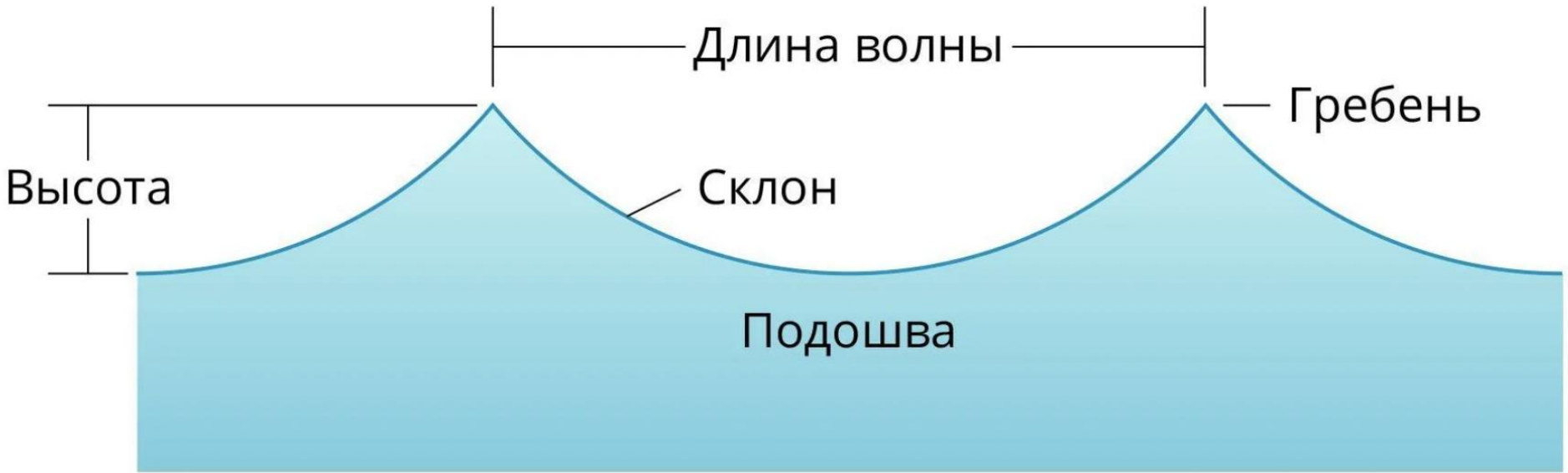
神奈川沖
波裏

Волна-убийца != Цунами

Важные события

- Легенды и сказания
- Кущение нефтяной полупогруженной платформы Draupner(01.01.1995)
- Выбор релевантного показателя (2009)
- Воспроизведение в вычислительном эксперименте при естественных условиях(2010)
- Воспроизведение феномена в бассейне, путем пересечения волн(2018)

Волна



Амплитудный критерий

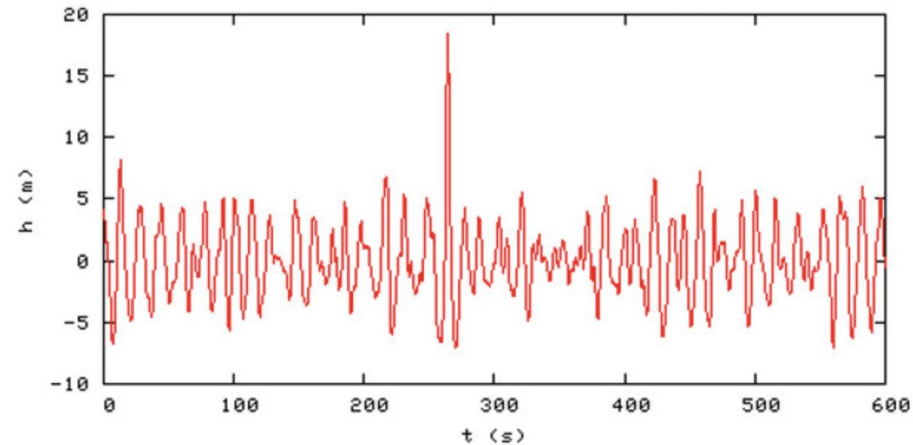
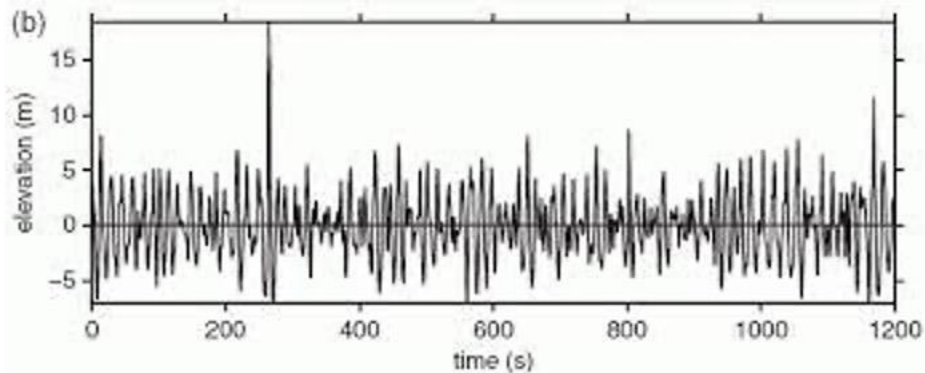
Список высот волн

```
[1.998, 2.434, 3.623, 4.023, 5.134, 3.654, 2.012, 4.345, 2.628, 4.012, 3.241]
```

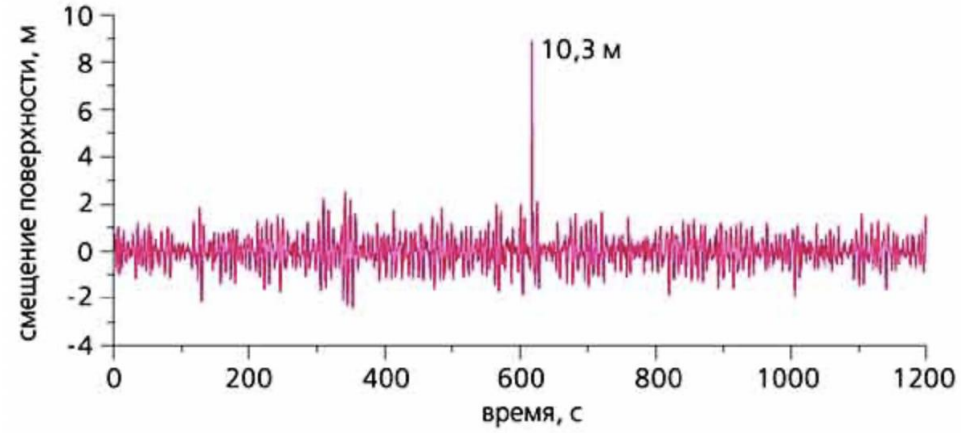
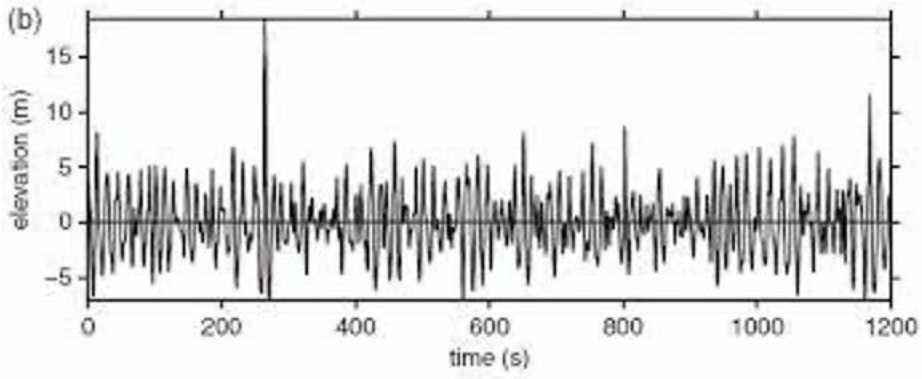
Значения амплитудного критерия

```
1.          1.          1.          1.05231494  1.12132795  0.79807797
0.4711576   0.96541253  0.44437861  1.25875546  1.35140842  0.67739347
2.2894297   0.34341446  0.22894297  0.50312356  0.12578089]
```

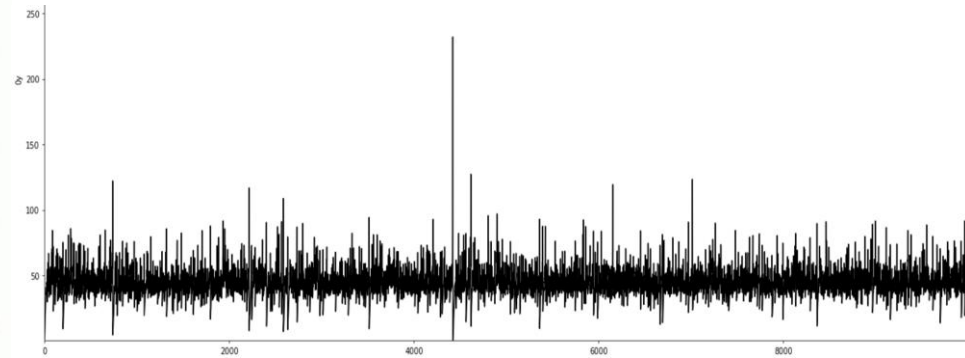
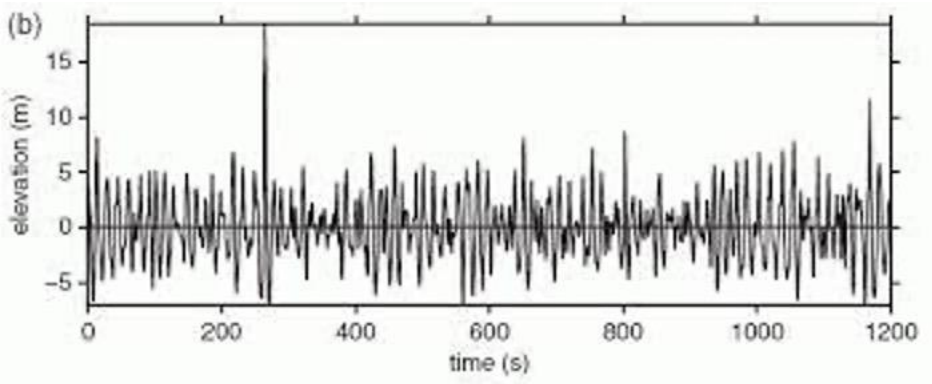
Вычислительный эксперимент и Новогодняя волна



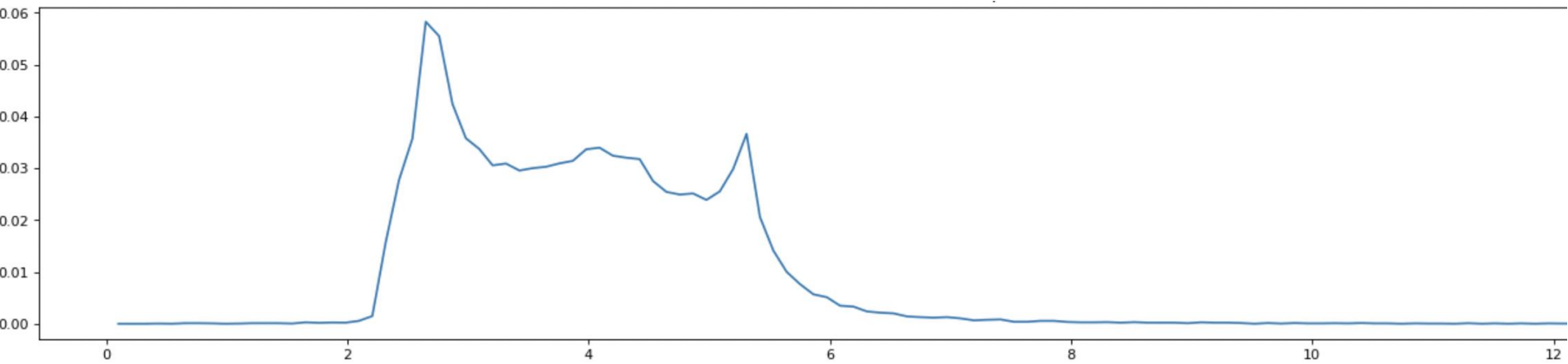
Вычислительный эксперимент и аномальная черноморская волна



Вычислительный эксперимент и результат стохастической модели



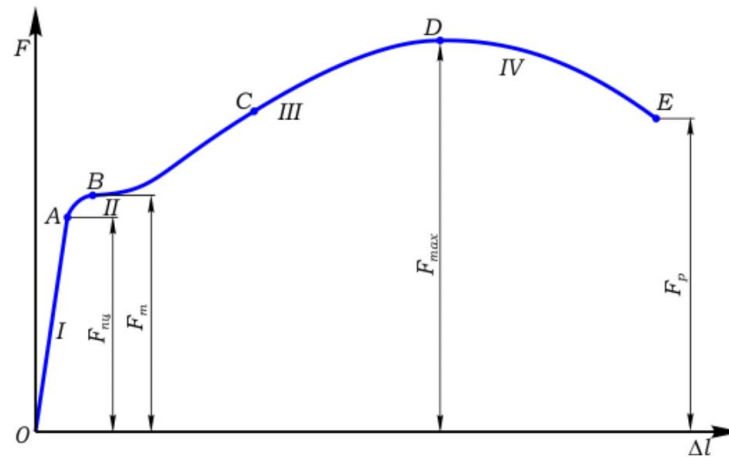
Распределение высот волнограммы вычислительного эксперимента



Волна-убийца?



Растяжение пластины



I — участок пропорциональности;

II — участок текучести;

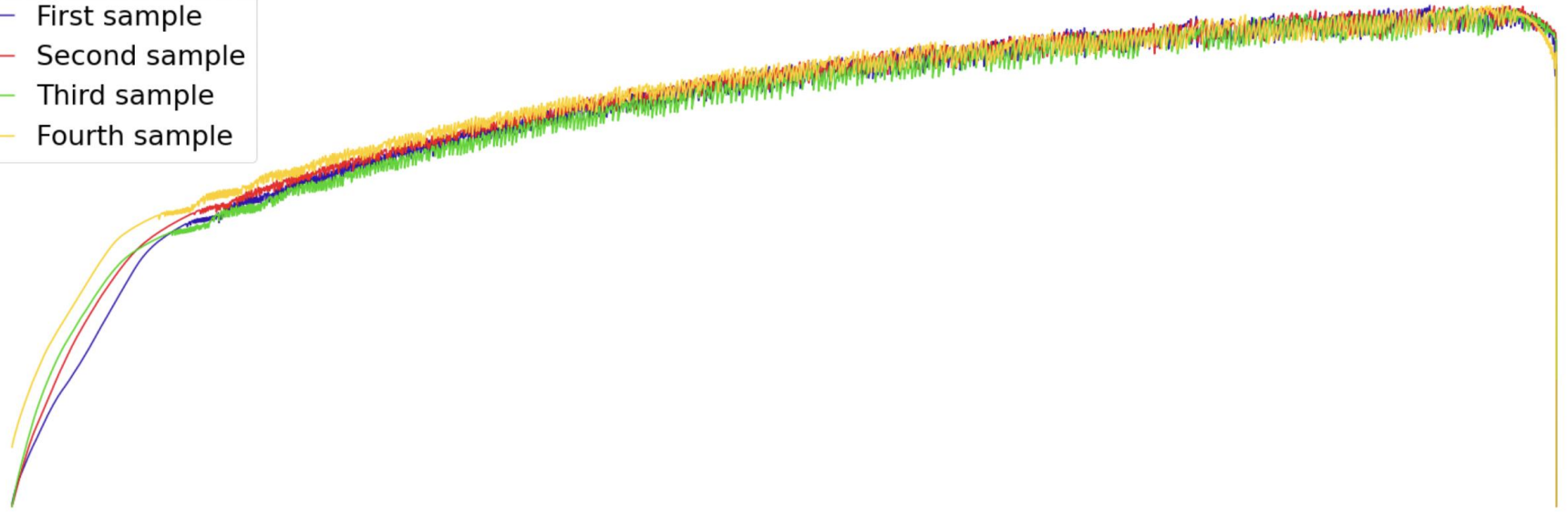
III — участок самоупрочнения;

IV — участок разрушения.

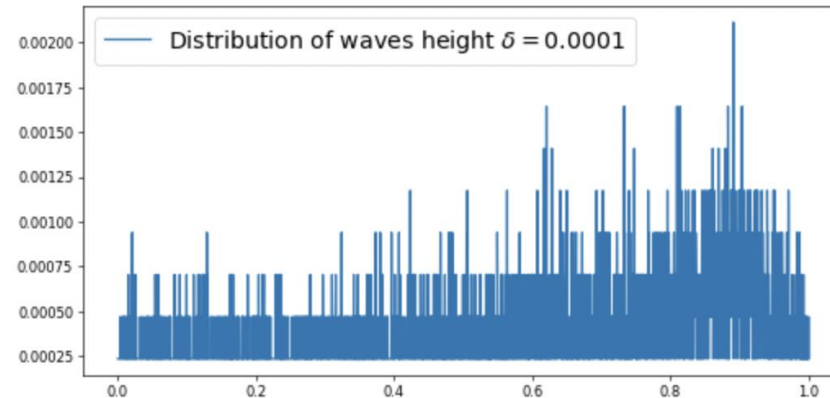
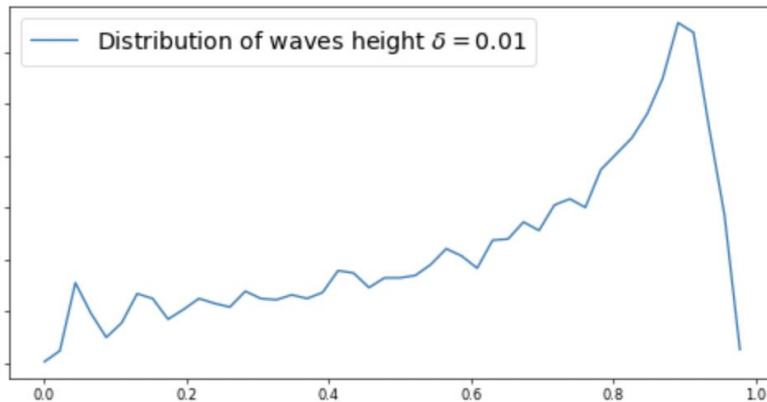
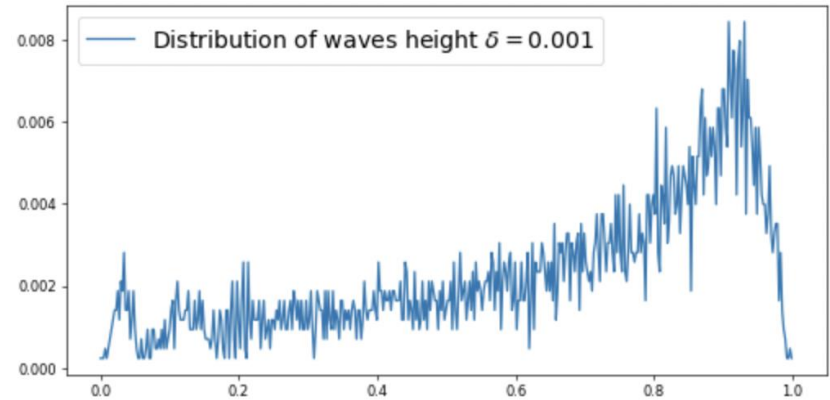
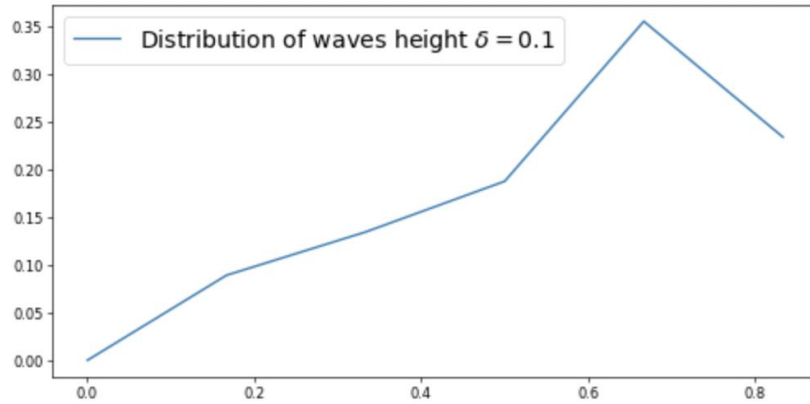
Проявление эффекта ПЛВШ

На сплаве алюминии

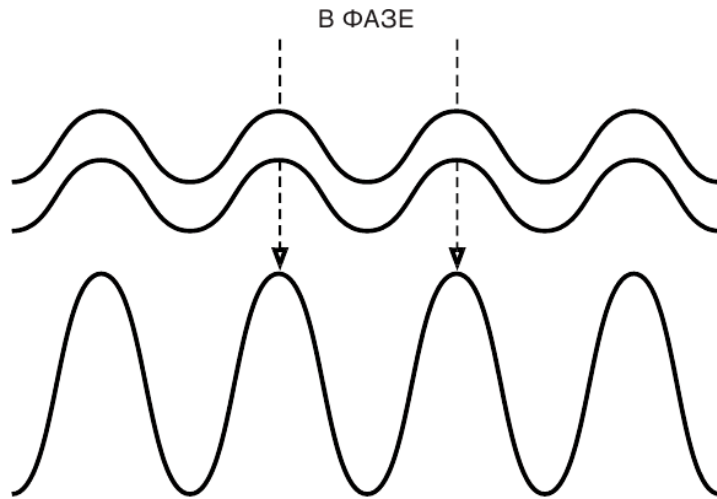
- First sample
- Second sample
- Third sample
- Fourth sample



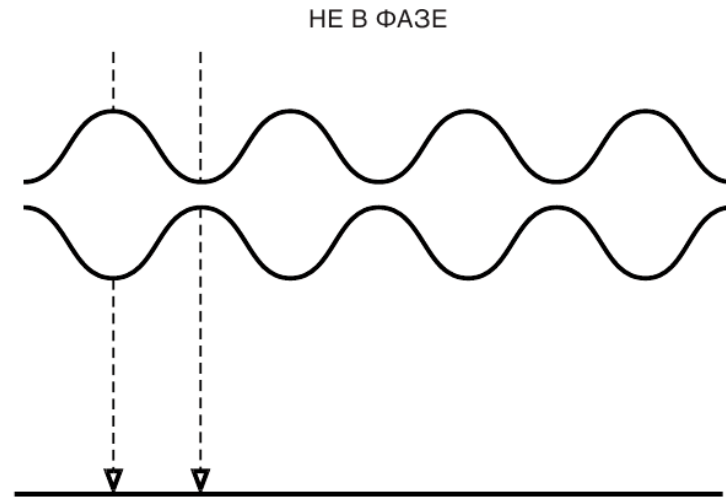
Распределения высот



Гипотеза 1



ГРЕБНИ И ВПАДИНЫ ВОЛН СОВПАДАЮТ,
ВОЛНЫ УСИЛИВАЮТ ДРУГ ДРУГА



ГРЕБНИ ПРОТИВ ВПАДИН,
ВОЛНЫ ГАСЯТ ДРУГ ДРУГА

Гипотеза 2



Энергетическое пространство

$$J_t: V \rightarrow K \subset \mathbb{R}$$

V — множество непересекающихся объемов.

Энергетическая оценка

$$J_t(v_i) = w_i(t).$$

Траектории энергии

Конечные последовательности $u = (v_j, \dots, v_i) = ji$. U – множество всех конечных последовательностей.

Определение 1. Конечные последовательности $a = (v_j, \dots, v_i)$ и $b = (v_j, \dots, v_k)$ принадлежат одному классу эквивалентности $[u] \subset U$, если $v_j = v_i$ и $v_i = v_k$.

Введем операцию склейки « \circ ». Через G обозначим множество всех последовательностей состоящих из двух элементов (v_i, v_j) .

Траектории энергии

Утверждение. Если для любого i и $c \neq e_{ii}$ существуют $a \neq e_{ii}$ и $b \neq e_{ii}$ такие, что $c = a \circ b$, где $a, b, c \in G$, то $\langle V, G \rangle$ – полный граф.

Определение 2. Последовательность $u = (v_i, v_j)$ называется связанной в момент времени t , если между элементами v_i и v_j существует обмен энергией в соответствующий момент времени.

Обмен энергией

$\mathfrak{D} = \{D_t^u: W \rightarrow W\}_{u \in G} \subset C^1(T)$ – двухпараметрическое семейство замкнутых операторов, таких что для *любого* $D_t^u \in \mathfrak{D}$ верно $D_0^u = I$.

Определение 3. Пусть (v_i, v_j) – связанная последовательность в момент времени τ . Если при $u = ji = (v_j v_i)$ выполняется равенство

$$D_t^{ij} J_\tau(v_i) = J_i(v_j),$$

то v_j называется валентной точкой оператора D_t^{ji} в момент времени t при $\tau \leq t$.

Обмен энергией

Если для оператора $D_t^{ji} \in \mathfrak{D}$ существует валентная точка v_i , то определим для него норму в энергетическом пространстве H по формуле

$$\|D_t^{ji}\|_H = \left| \int_{\tau}^t F(D_t^{ji}) dJ_{\tau}(v_i) \right| = |J_t(v_i) - J_{\tau}(v_j)|,$$

где интегрирование происходит по Лебегу, а функция F имеет вид:

$$F(D_t^u) = \begin{cases} D_t^u, & \frac{dD_t^u}{dt} \geq 0 \\ -D_t^u, & \frac{dD_t^u}{dt} < 0 \end{cases}.$$

Обмен энергией

Лемма. Для любой последовательности, состоящей из двух элементов v_i и v_j , существует оператор \overline{D}_t^u , причем единственный с точностью до выбора валентной точки.

Согласно лемме с учетом утверждения становится корректной запись процесса обмена энергии в следующем виде: $D_t(w) = J_t(v_i)$.

Обмен энергией

Для любых $\widehat{D}_t^a, \bar{D}_\tau^b \in \mathfrak{D}$ определим композицию операторов как

$$\widehat{D}_t^a \bar{D}_\tau^b = \widetilde{D}_{t+\tau}^{a \circ b},$$

при $\tau \leq t$ и $a \circ b = c \sim u \in G$.

Пусть $\Delta\tau$ промежуток времени, принимаемый за условную единицу, тогда следующая запись описывает динамический процесс:

$$(D_{n\Delta\tau}(w))^n = J_t(v_i),$$

где $n \in \mathbb{N}$ количество временных интервалов.

Классы динамических операторов

Произведём разбиение множества $\mathfrak{D} = \mathfrak{S} \cup \mathfrak{L}$, где \mathfrak{S} – операторы с нулевой нормой в энергетическом пространстве, а \mathfrak{L} – остальные операторы.

Пусть $2w \neq 0$ – условная единица измерения энергии, которую возможно зарегистрировать, тогда в \mathfrak{L} возникает упорядоченная иерархия $[D_t] = \mathfrak{L}_n$, что если $D_t \in \mathfrak{L}_n$ то справедлива оценка:

$$\|D_t\|_H \leq \sum_{k=1}^t 2w \uparrow^{n-1} k.$$

Классы динамических операторов

Пусть $D_t \in \mathcal{L}_2$ тогда справедлива оценка:

$$w(t+1)t \leq \|D_t\|_H \leq \frac{2w}{2w-1} e^{\ln(2w)t},$$

при этом корректна запись обмена энергии в системе в следующем виде:

$$\frac{\partial w(t)}{\partial t} = J_t(v_i).$$

Волны-убийцы

Определение 4. Волной убийцей называется волна v , для которой амплитудный критерий $\mu(v) \geq 2.1$.

$$\mu(v) = \frac{h_t(v)}{s_t} = \frac{\|D_t\|_H}{\frac{1}{|M|} \sum_{\tau \in M} \|D_\tau\|_H} \geq \frac{2\|D_t\|_H}{\|D_{t-1}\|_H + \|D_{t-2}\|_H}$$

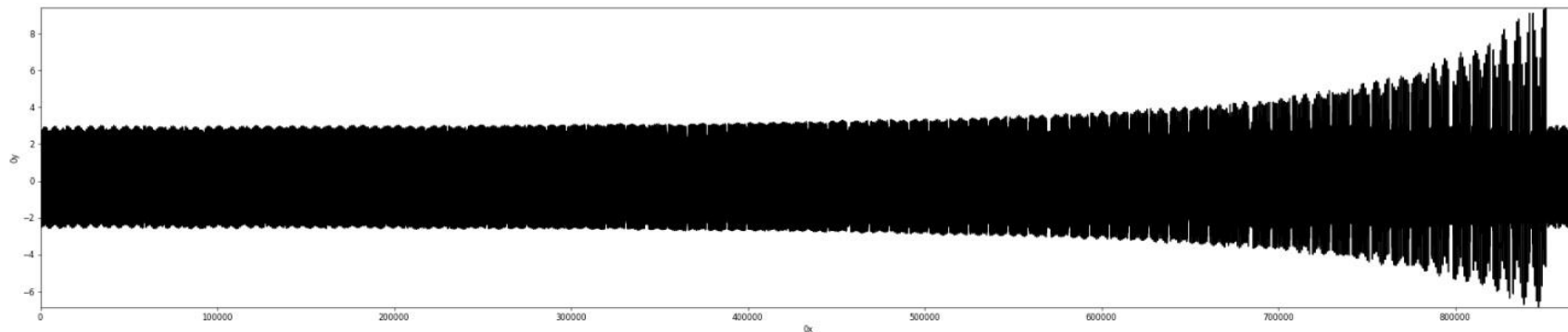
При $w = 1, t = 3$ справедливо следующее неравенство

$$1.5 \leq \frac{2\|D_t\|_H}{\|D_{t-1}\|_H + \|D_{t-2}\|_H} \leq 8.$$

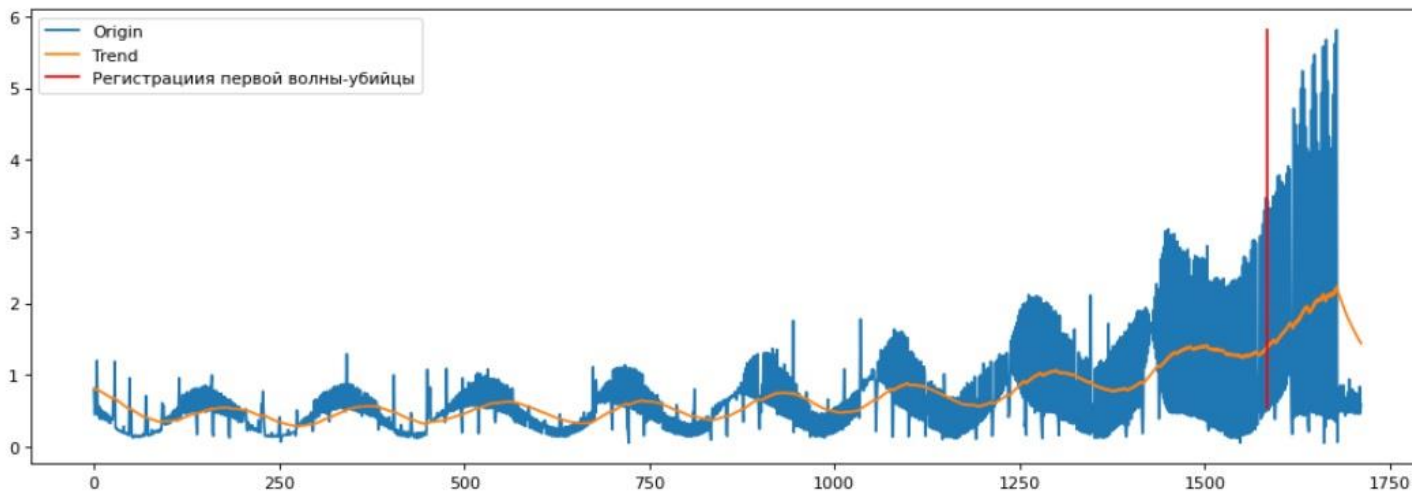
$$\begin{aligned} \frac{2\|D_t\|_H}{\|D_{t-1}\|_H + \|D_{t-2}\|_H} &\leq \frac{2\|D_t\|_H}{2 \min(\|D_{t-1}\|_H, \|D_{t-2}\|_H)} \leq \frac{\|D_t\|_H}{\|D_{t-2}\|_H} \leq \\ &\leq \frac{2e^{t \ln 2w}}{(2w-1)(t-1)(t-2)} \Big|_{t=3} = \frac{2e^{3 \ln 2}}{2} = 8. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{2\|D_t\|_H}{\|D_{t-1}\|_H + \|D_{t-2}\|_H} &\geq \frac{2\|D_t\|_H}{2 \max(\|D_{t-1}\|_H, \|D_{t-2}\|_H)} \geq \frac{\|D_t\|_H}{\|D_{t-1}\|_H} \geq \\ &\geq \frac{(2w-1)(t+1)t}{2e^{(t-1) \ln 2w}} \Big|_{t=3} = \frac{4 \cdot 3}{2e^{2 \ln 2}} = 1.5. \end{aligned}$$

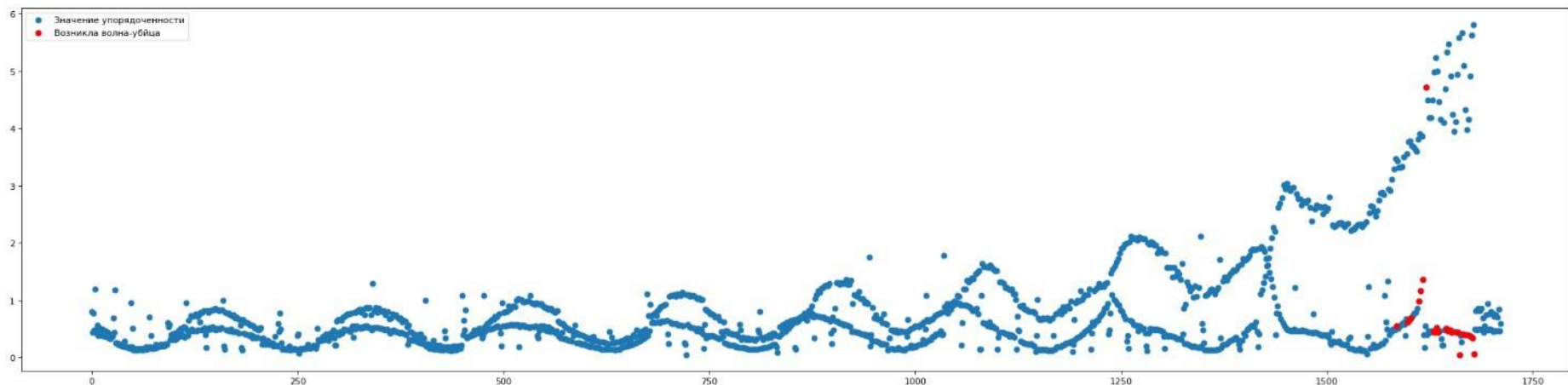
Волны-убийцы



Волны-убийцы

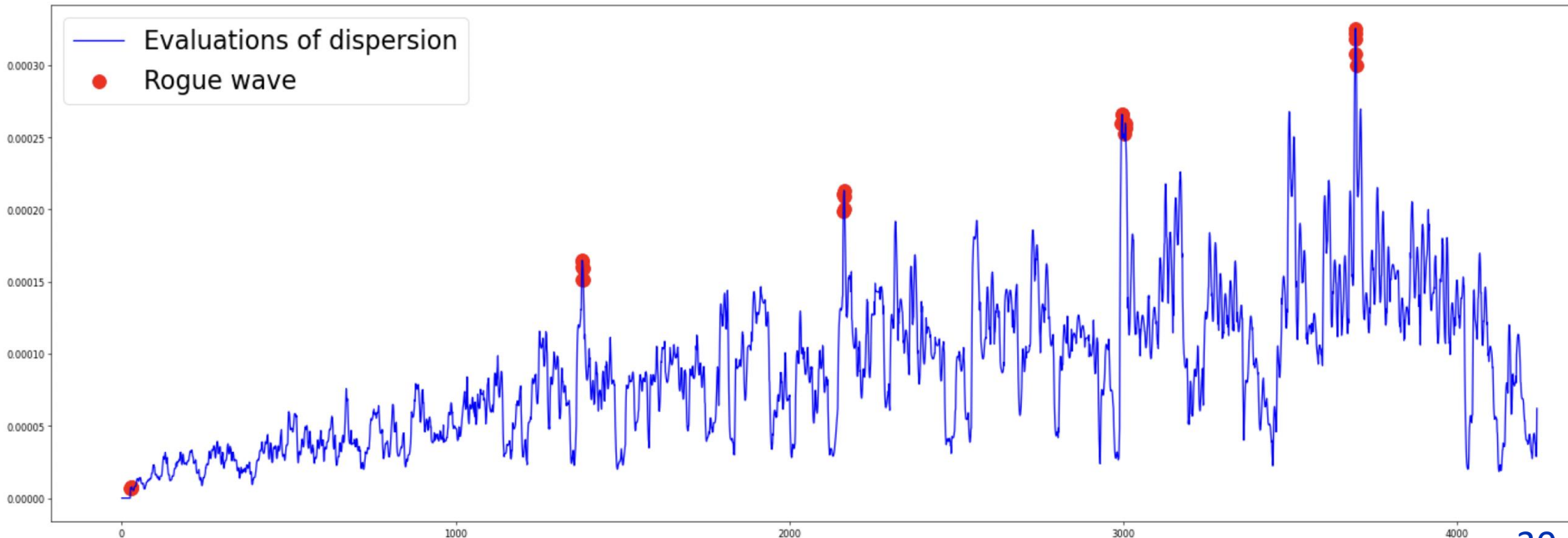


Волны-убийцы



Волны-убийцы

Очищенная волнограмма из эксперимента по растяжению образцов алюминия



Спасибо за внимание!

v.kazankov98@itmo.ru

ITMO *re than a*
UNIVERSITY