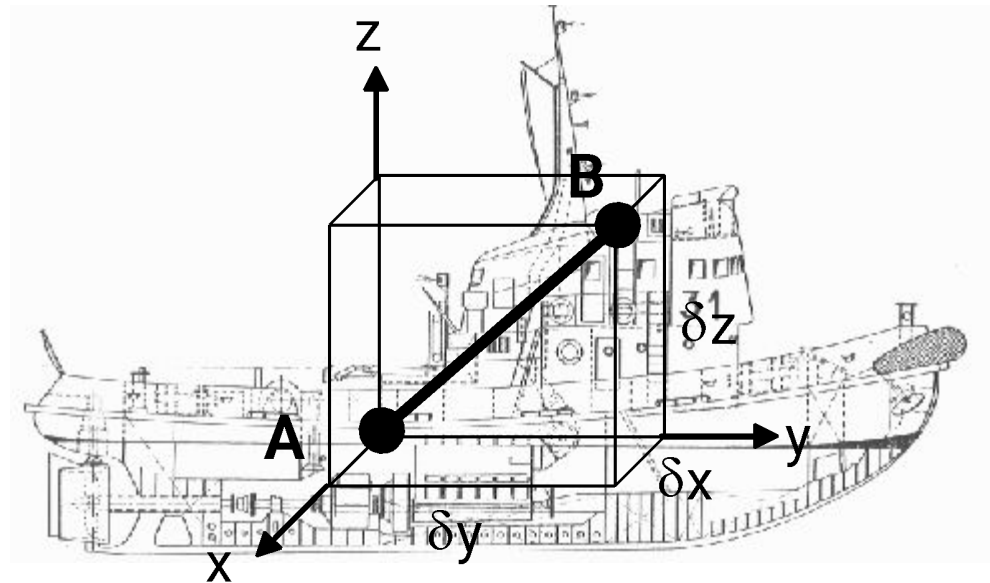


# ВЛИЯНИЕ перемещения, приёма и снятия ГРУЗА НА ПОСАДКУ И ОСТОЙЧИВОСТЬ



## Влияние перемещения груза на остойчивость

- Для расчёта влияния перемещения груза из точки А в точку В удобнее разложить его на элементарные перемещения по всем координатным осям:  $x$ ,  $y$  и  $z$ .
- В каком порядке рассматривать перемещения - сначала по  $x$ , потом по  $y$ , потом по  $z$  или сначала по  $y$ , потом по  $z$ , потом по  $x$  или как то иначе - безразлично.
- Надо только в каждой последующей операции учитывать результат предыдущих.
- Рекомендуется начинать расчеты посадки и остойчивости с **ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ** грузов



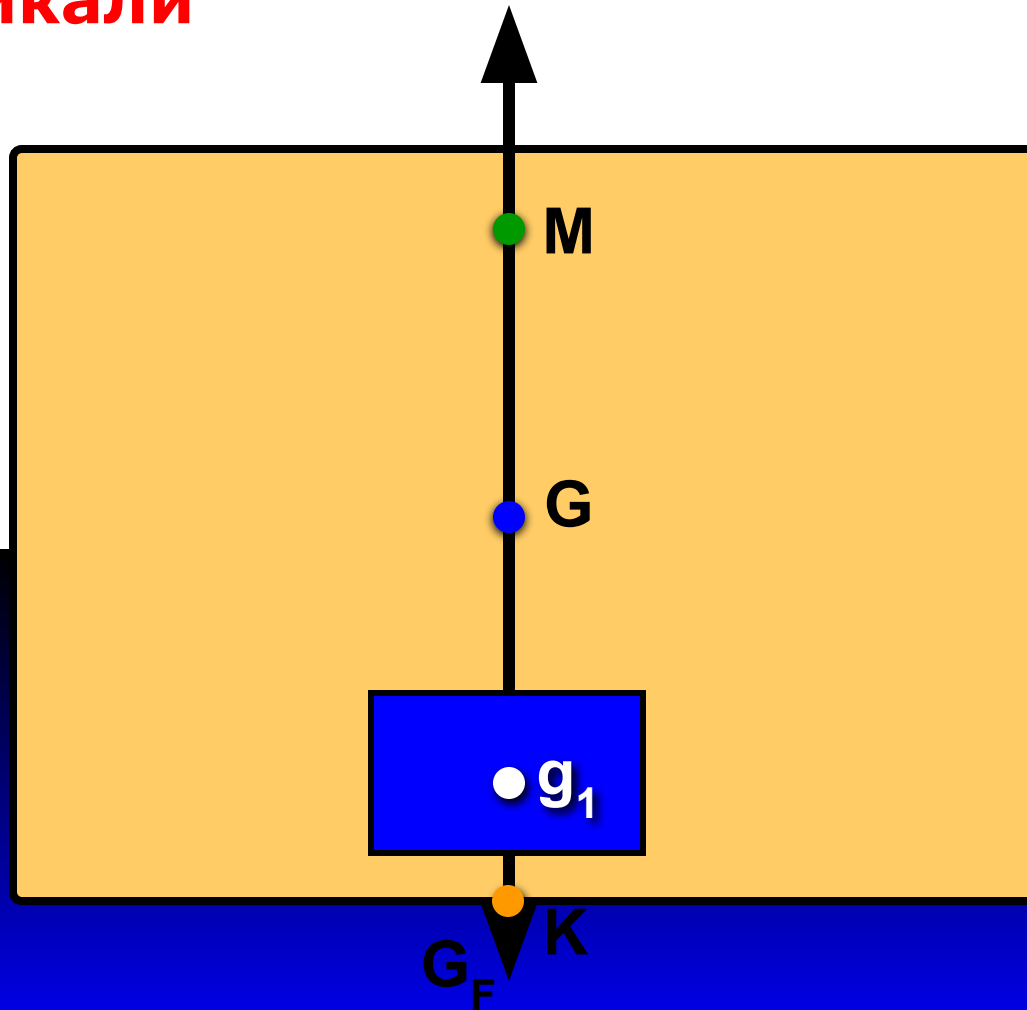
## ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ПРИМЕР

HYDROSTATIC PARTICULARS (EVEN KEEL) OF MV "ONESUCH" - In sea water RD 1.025

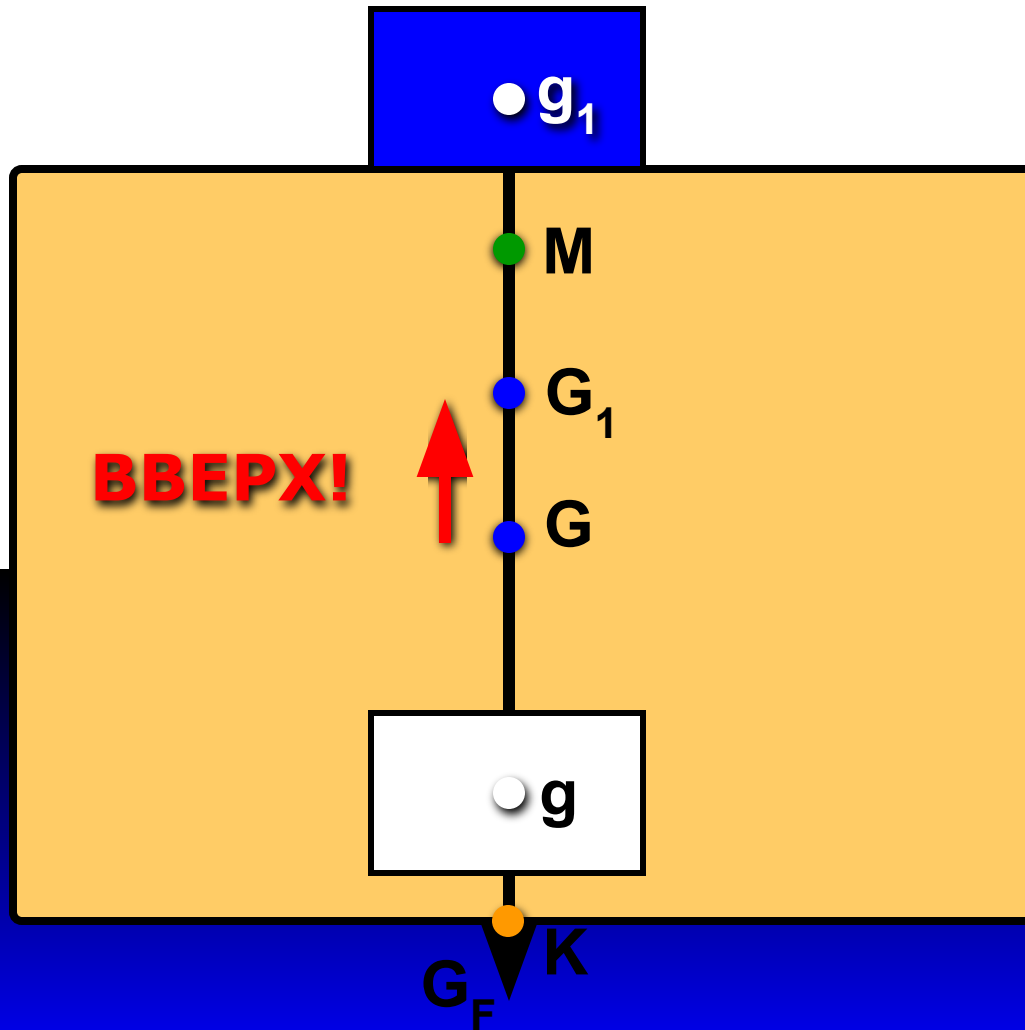
Full Draft (metres)	Full displacement in FW (t)	Full displacement in SW (t)	Tonnes per cm immersion	MCTC Tonne-metre	LCB abaft amidships (metres)	LCF abaft amidships (metres)	VCB above base (metres)	KM <sup>L</sup> above base (metres)	KM <sup>L</sup> above base (metres)
3.0	3751	3845	14.96	81.96	0.09	0.27	1.60	9.51	262.8
3.2	4046	4147	15.12	83.76	0.11	0.30	1.71	9.18	249.6
3.4	4342	4451	15.26	85.30	0.12	0.34	1.82	8.91	237.7
3.6	4641	4757	15.40	86.88	0.13	0.37	1.93	8.67	227.1
3.8	4942	5066	15.52	88.34	0.15	0.41	2.03	8.46	217.4
4.0	5246	5377	15.65	89.98	0.17	0.44	2.14	8.27	208.2
4.2	5551	5690	15.76	91.50	0.18	0.49	2.24	8.10	200.5
4.4	5858	6005	15.87	92.92	0.20	0.53	2.35	7.96	193.0
4.6	6169	6323	15.97	94.60	0.22	0.59	2.45	7.83	186.7
4.8	6481	6643	16.08	96.36	0.24	0.65	2.56	7.72	180.8
5.0	6795	6965	16.17	98.26	0.27	0.73	2.67	7.63	175.3
5.2	7111	7289	16.26	100.20	0.29	0.81	2.78	7.56	170.9
5.4	7430	7616	16.35	102.20	0.32	0.92	2.89	7.49	166.8
5.6	7751	7945	16.45	104.22	0.34	1.03	2.99	7.44	163.0
5.8	8074	8276	16.56	106.36	0.37	1.16	3.10	7.41	159.9
6.0	8399	8609	16.68	108.70	0.40	1.32	3.20	7.38	156.8
6.2	8726	8944	16.80	111.00	0.44	1.48	3.31	7.36	154.2
6.4	9055	9281	16.94	113.40	0.48	1.66	3.42	7.36	152.0
6.6	9386	9621	17.07	115.80	0.51	1.83	3.52	7.36	149.9
6.8	9720	9963	17.21	118.16	0.55	2.02	3.63	7.38	148.1
7.0	10056	10307	17.35	120.78	0.60	2.21	3.74	7.40	146.3
7.2	10393	10653	17.50	123.20	0.65	2.39	3.85	7.42	144.6
7.4	10734	11002	17.62	125.68	0.70	2.56	3.96	7.45	142.9
7.6	11076	11353	17.74	128.12	0.75	2.73	4.07	7.48	141.3
7.8	11420	11706	17.85	130.58	0.81	2.88	4.17	7.52	140.0
8.0	11768	12062	17.98	133.14	0.87	3.03	4.28	7.56	138.2



## Перенос груза по вертикали



# Перенос груза вверх



## Перенос груза вверх

$$GG_1 = \frac{p \times l_z}{D}$$

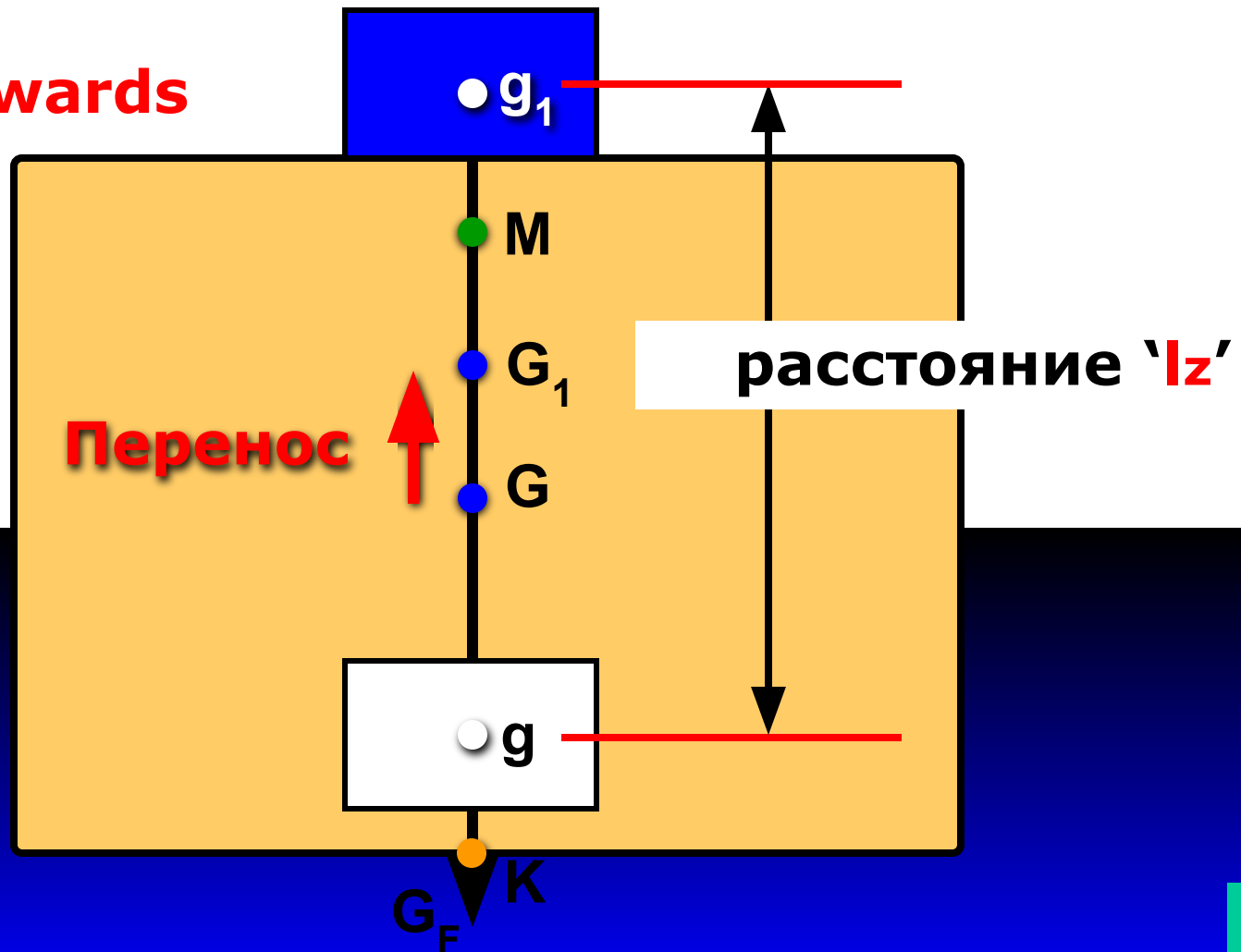
где

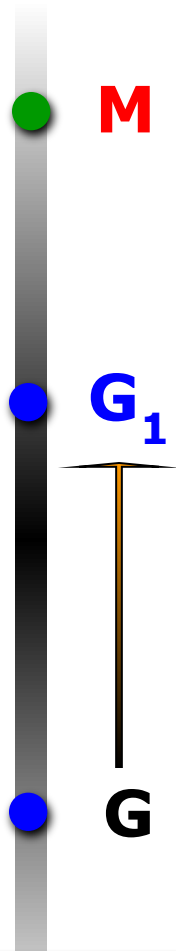
$p$  вес груза

$l_z$  расстояние между начальным положением Ц.Т. груза ' $g$ ' и новым ' $g_1$ '  
( $Kg \sim Kg_1$ )

$D$  Весовое водоизмещение

**Перенос груза  
вверх  
Shift Upwards**





Новая МЦВ  $G_1M$  = Первоначальная МЦВ  $GM$  -  $GG_1$  


При переносе груза ВВЕРХ остойчивость ухудшается!!!



# Перенос груза

ВНИЗ

## Shift Downwards

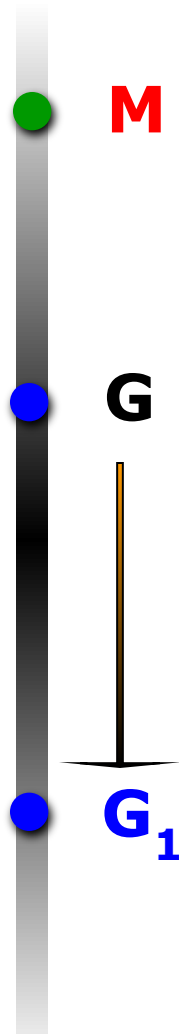
$$GG_1 = \frac{p \times l_z}{D}$$


где

$p$  вес переносимого груза

$l_z$  расстояние между начальным Ц.Т груза ' $g$ ' и конечным ' $g_1$ ' ( $Kg \sim Kg_1$ )

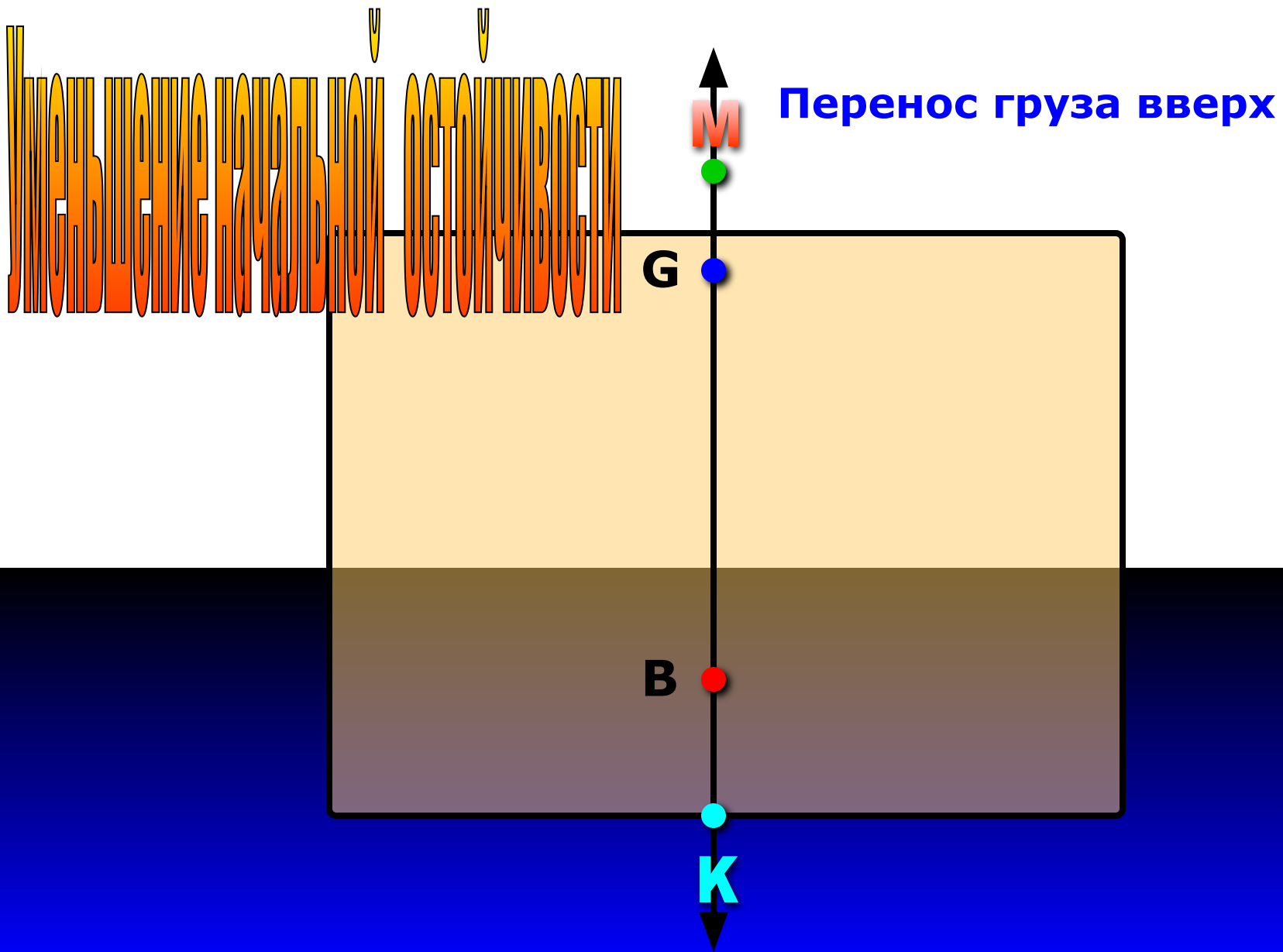
$D$  весовое водоизмещение

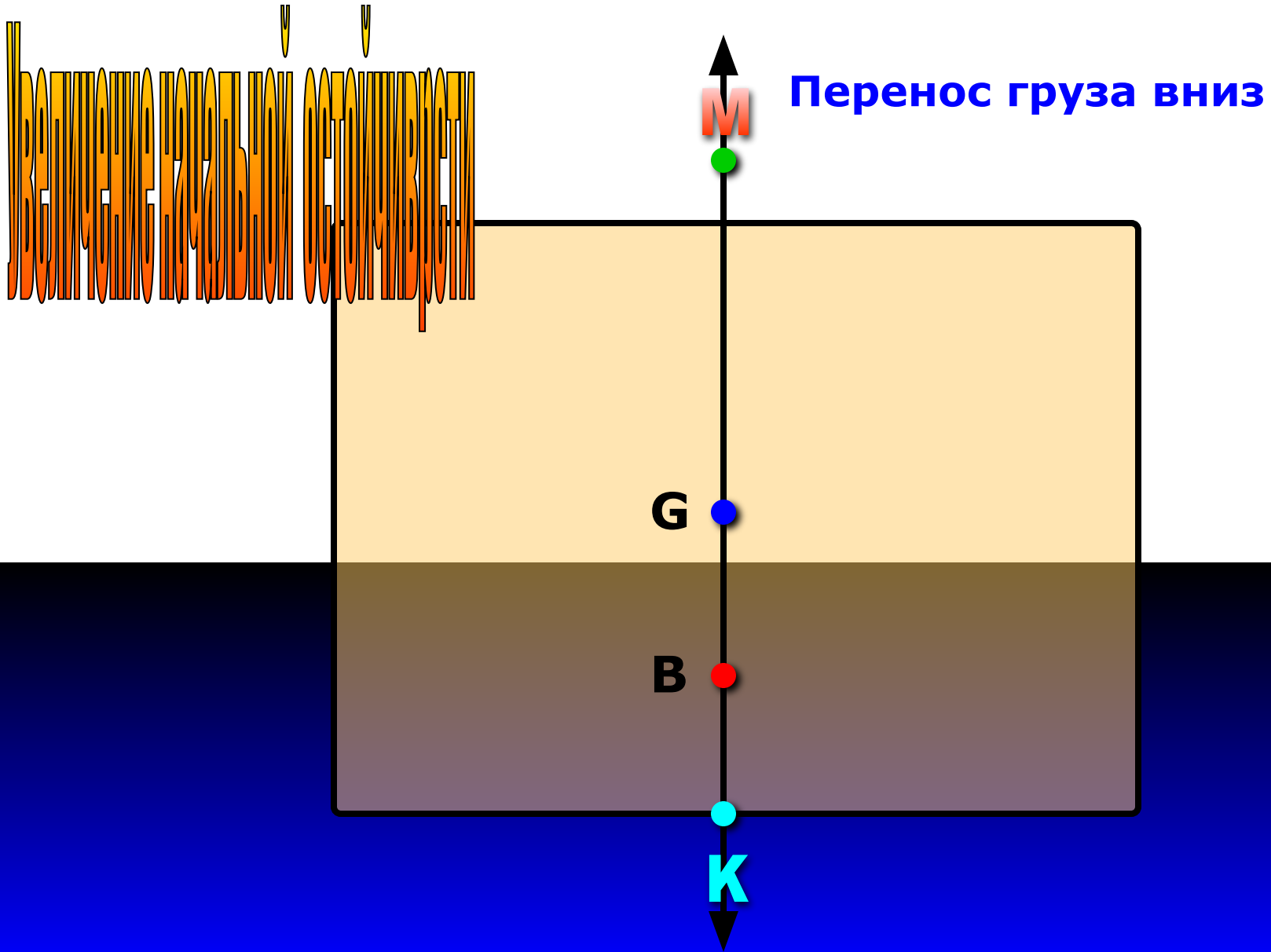


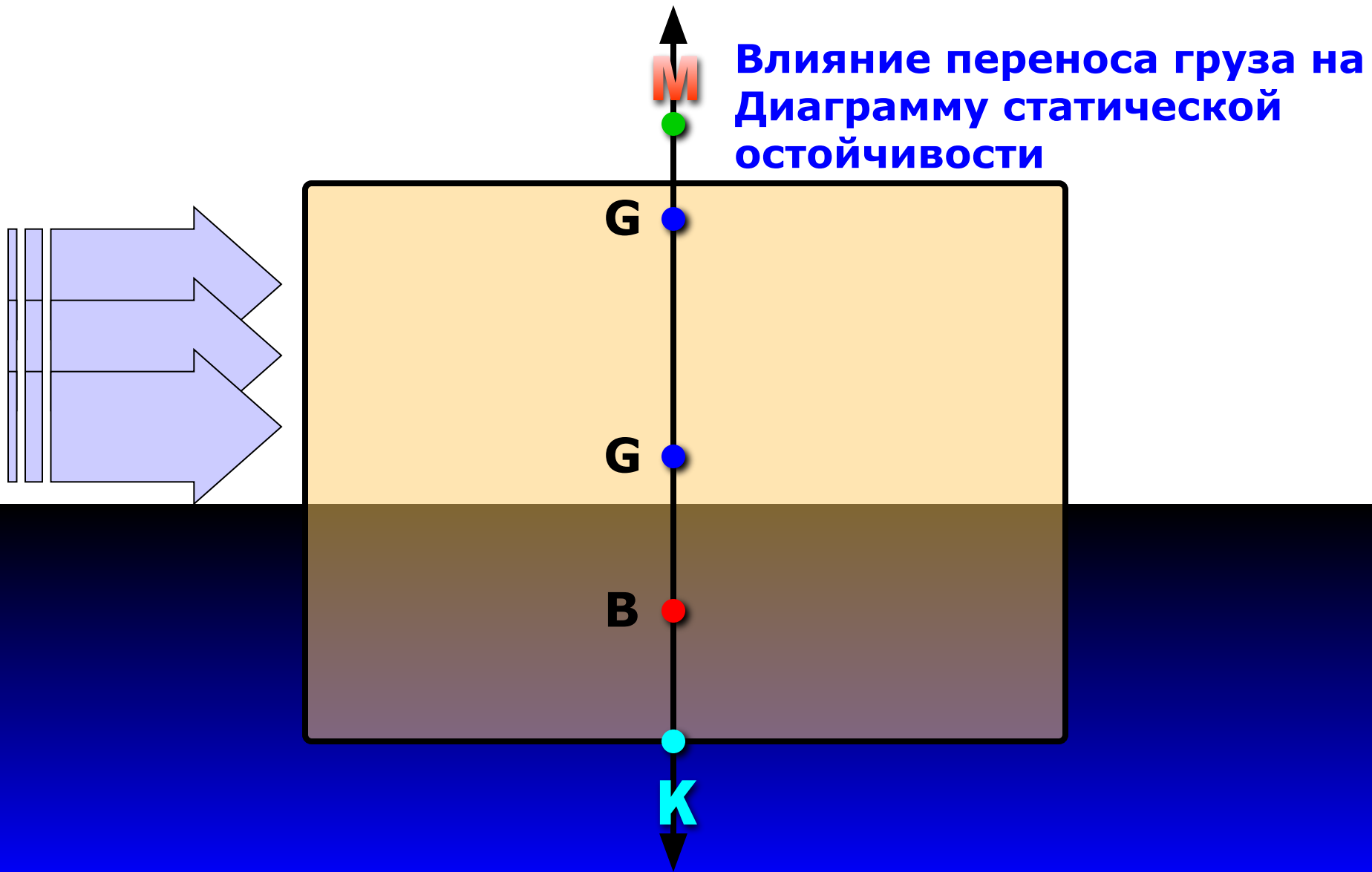
**Новая МЦВ  $G_1M$  = Начальная +  $GG_1$**

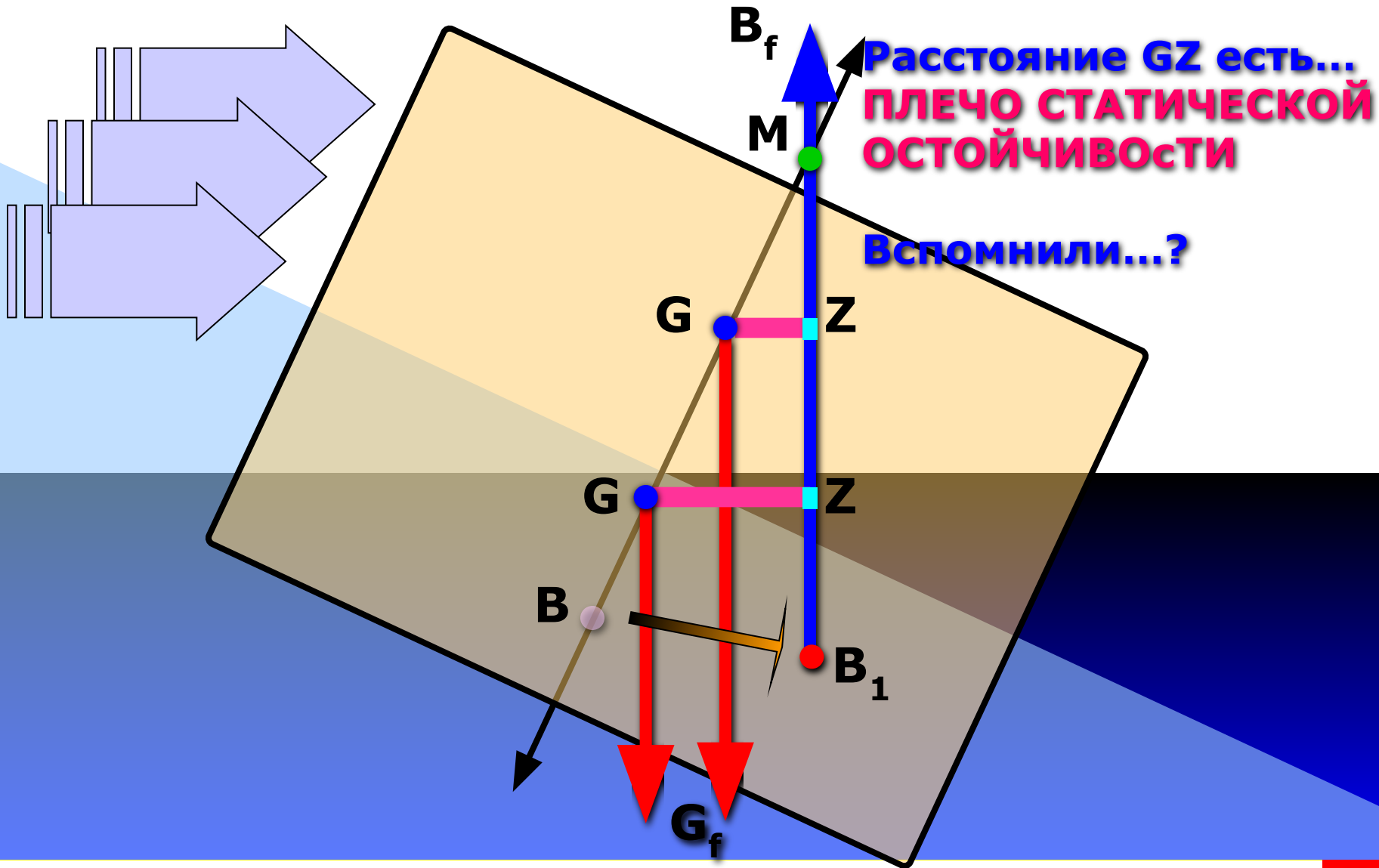


**При переносе груза ВНИЗ остойчивость улучшается!!!**

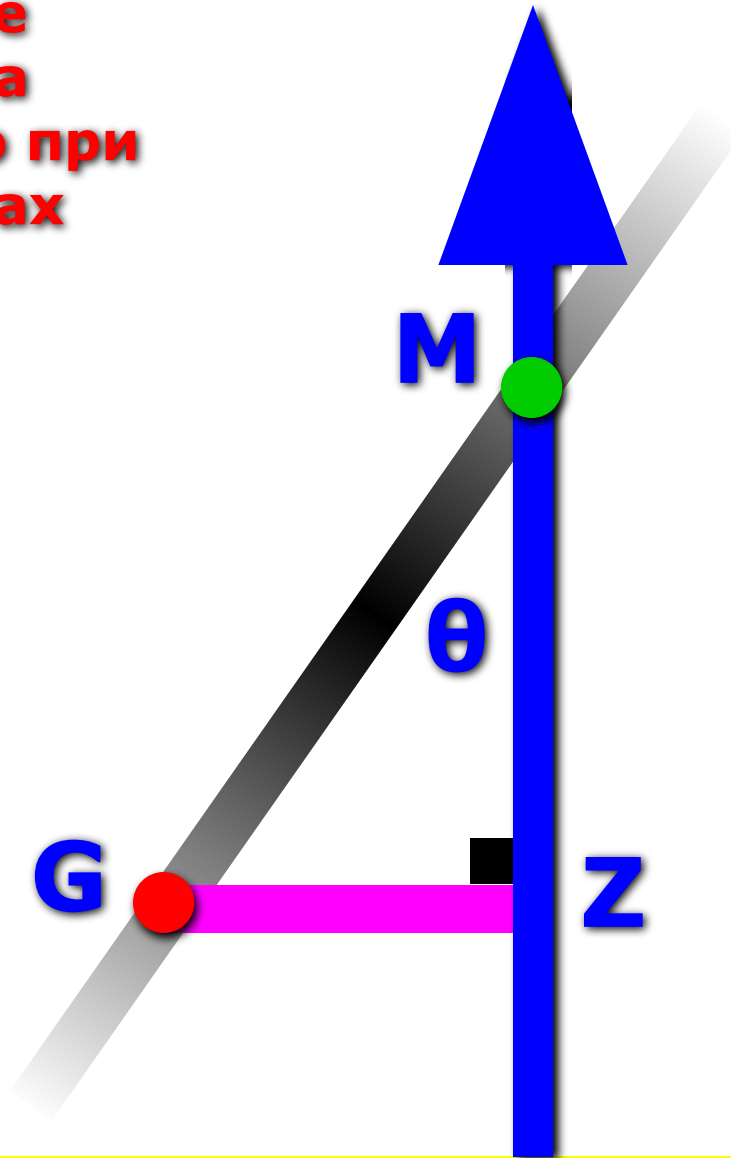








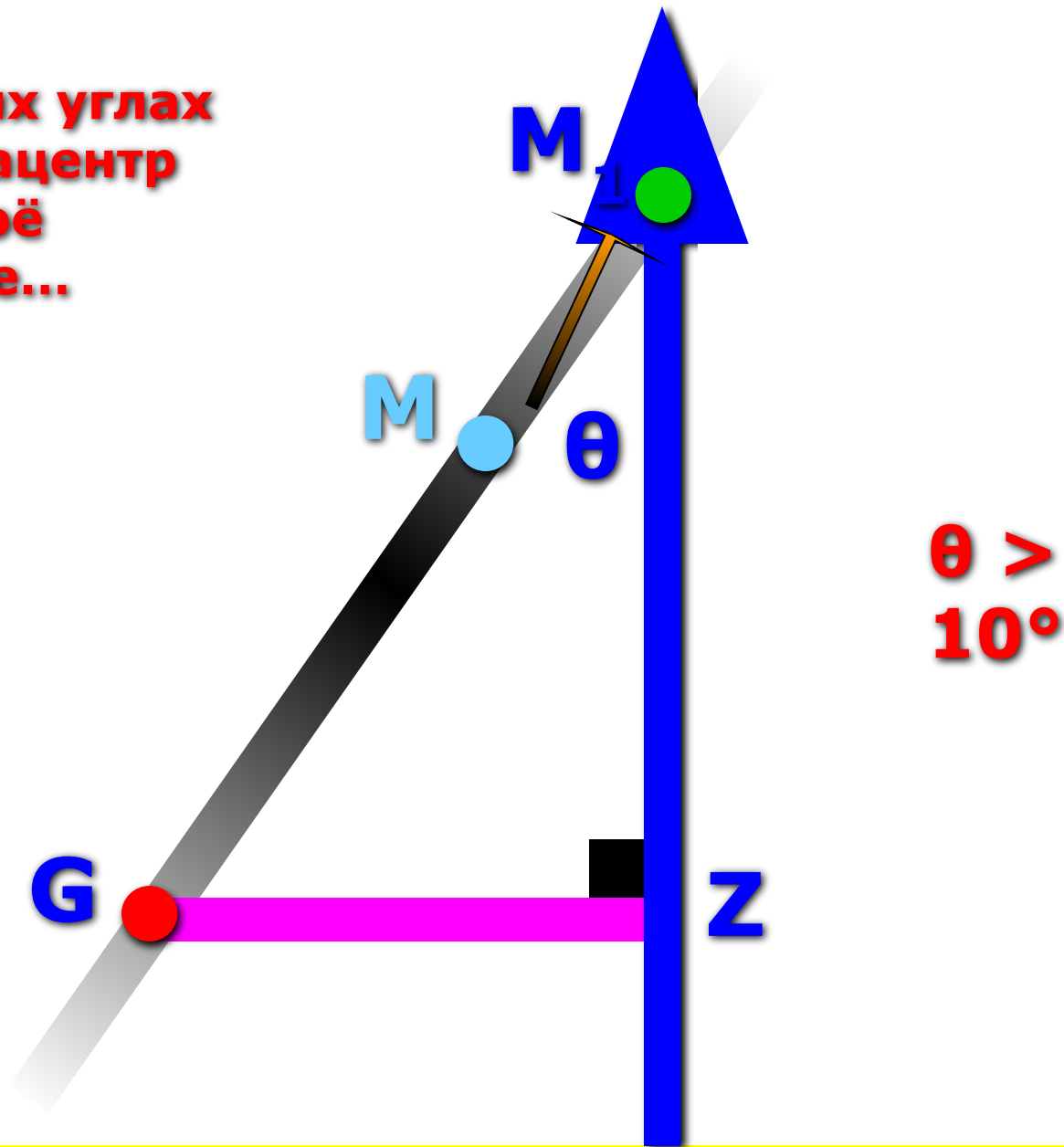
**Положение  
метацентра  
неизменно при  
малых углах  
крена...**



**$\theta \leq 10^\circ$**



На больших углах крена метацентр меняет своё положение...



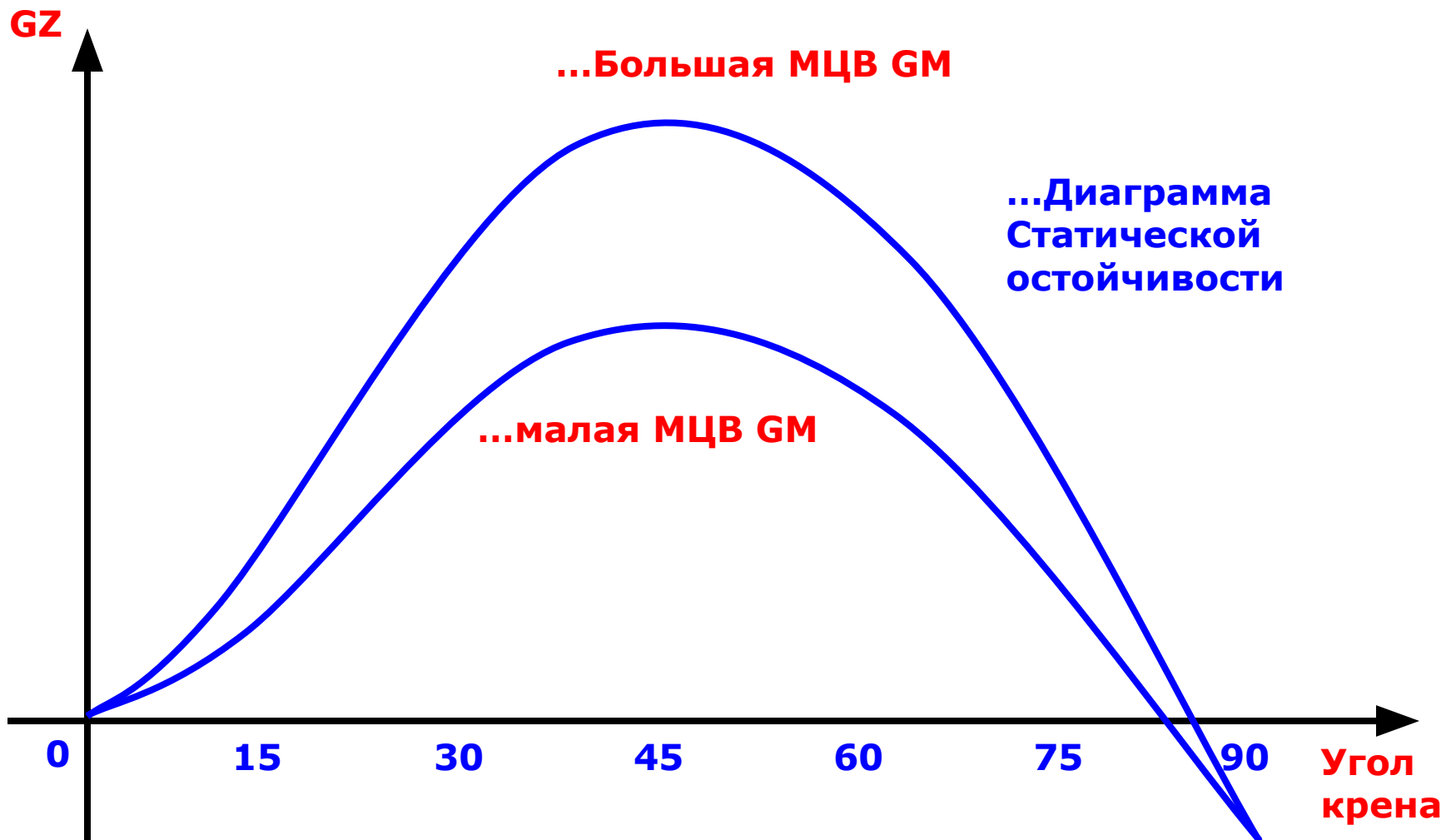
**Плечо статической остойчивости (GZ) судна-примера  
D=10000 т при наклонениях...**

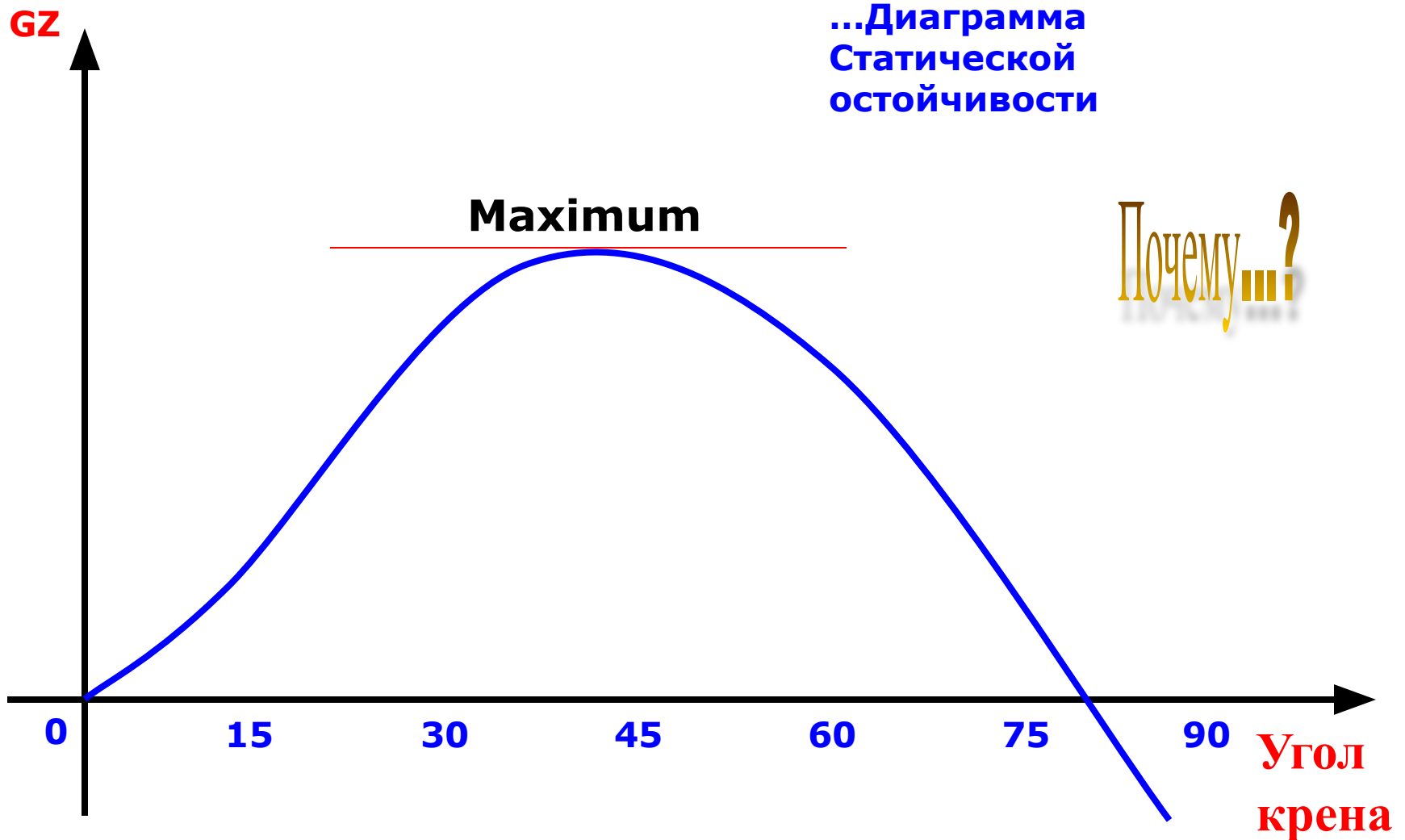
**Перенос груза  $p=80$  т на 8 м вверх**

<b>Угол крена</b>	<b>0°</b>	<b>15°</b>	<b>30°</b>	<b>45°</b>	<b>60°</b>	<b>75°</b>	<b>90°</b>
<b>GZ (м)</b>	<b>0.0</b>	<b>0.26</b>	<b>0.53</b>	<b>0.87</b>	<b>0.77</b>	<b>0.34</b>	<b>- 0.16</b>

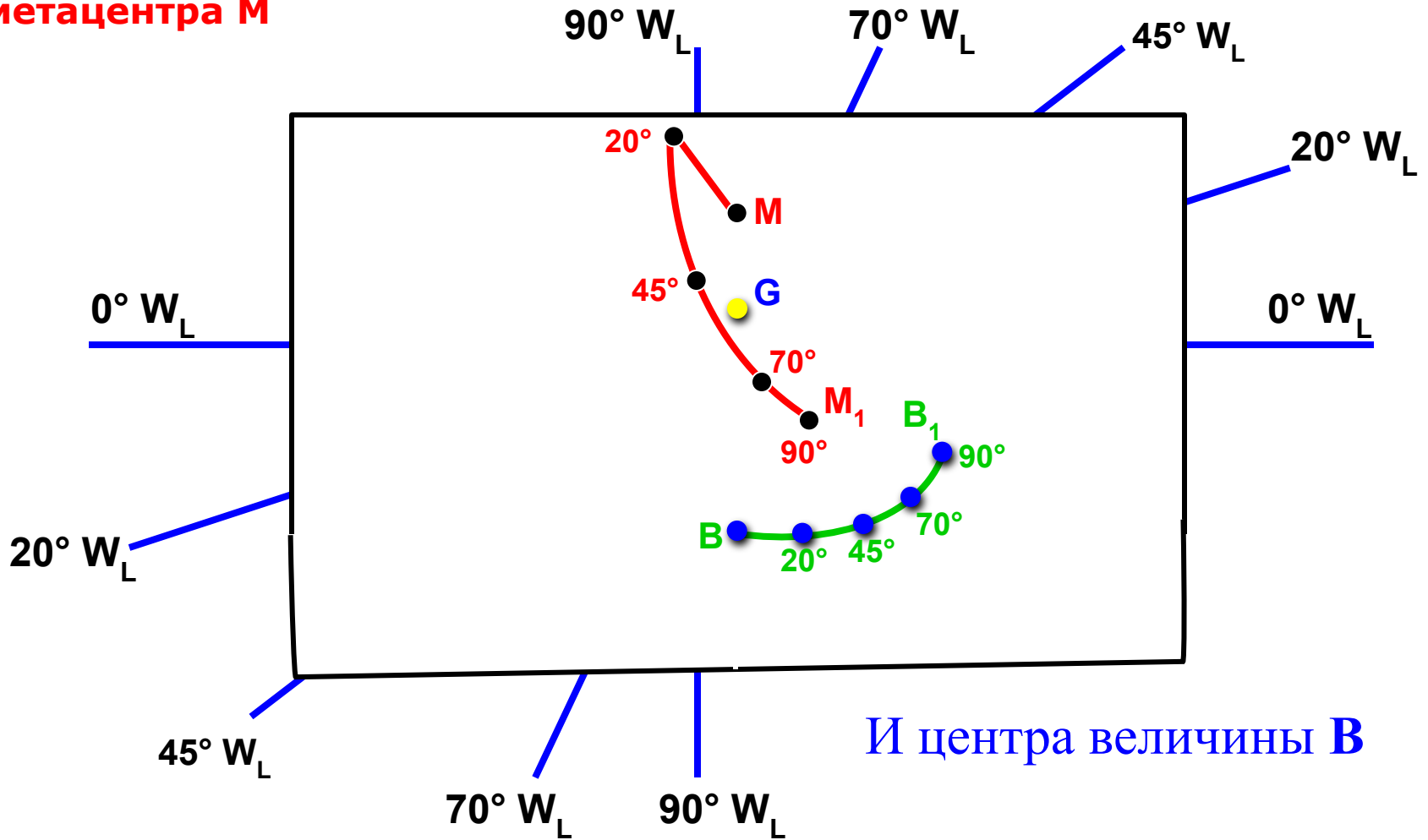
**Перенос груза  $p=80$  т на 8 м вниз**

<b>Угол крена</b>	<b>0°</b>	<b>15°</b>	<b>30°</b>	<b>45°</b>	<b>60°</b>	<b>75°</b>	<b>90°</b>
<b>GZ (м)</b>	<b>0.0</b>	<b>0.40</b>	<b>1.20</b>	<b>1.98</b>	<b>1.35</b>	<b>0.85</b>	<b>- 0.02</b>



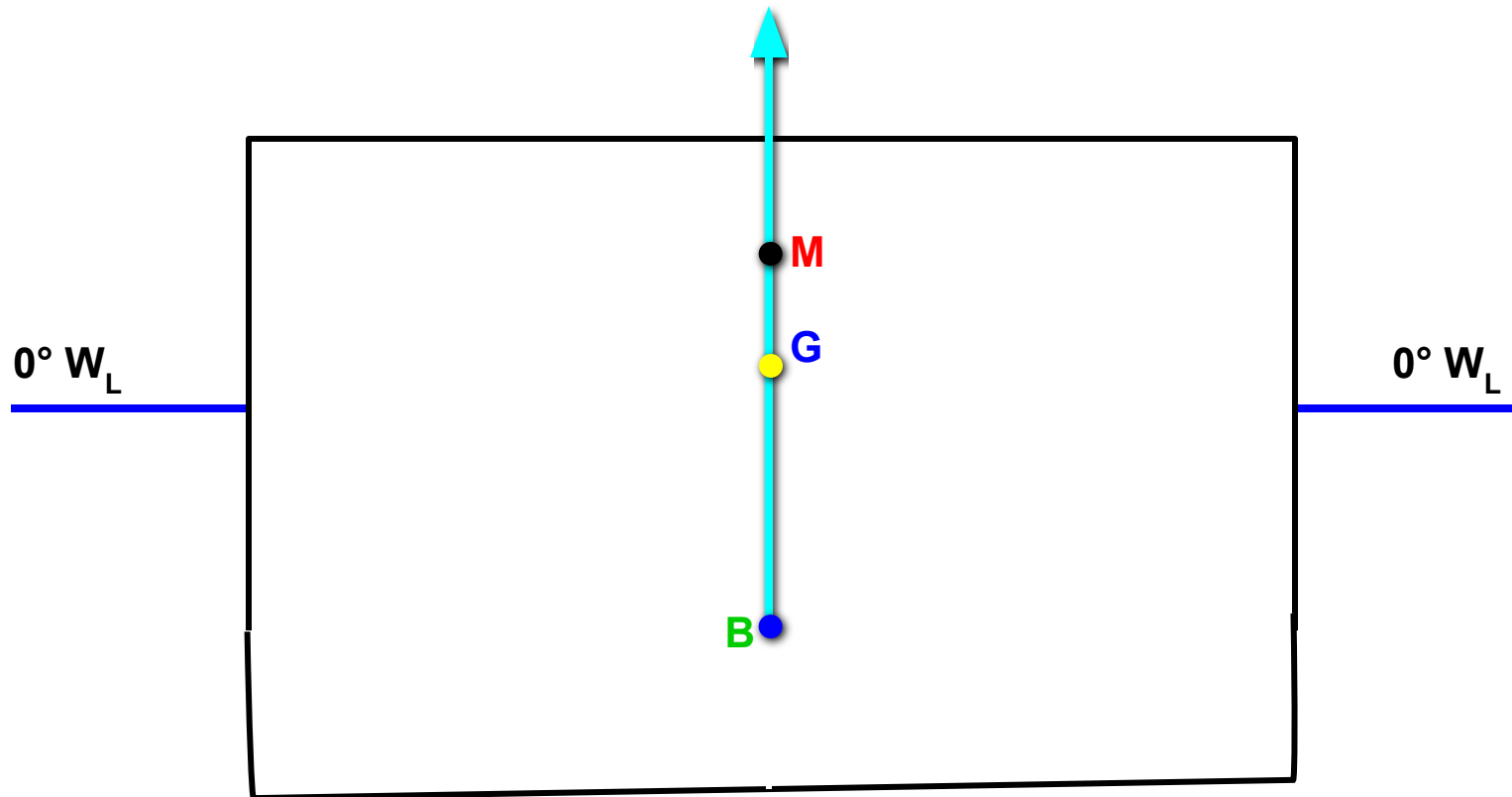


...Перемещение  
метацентра М

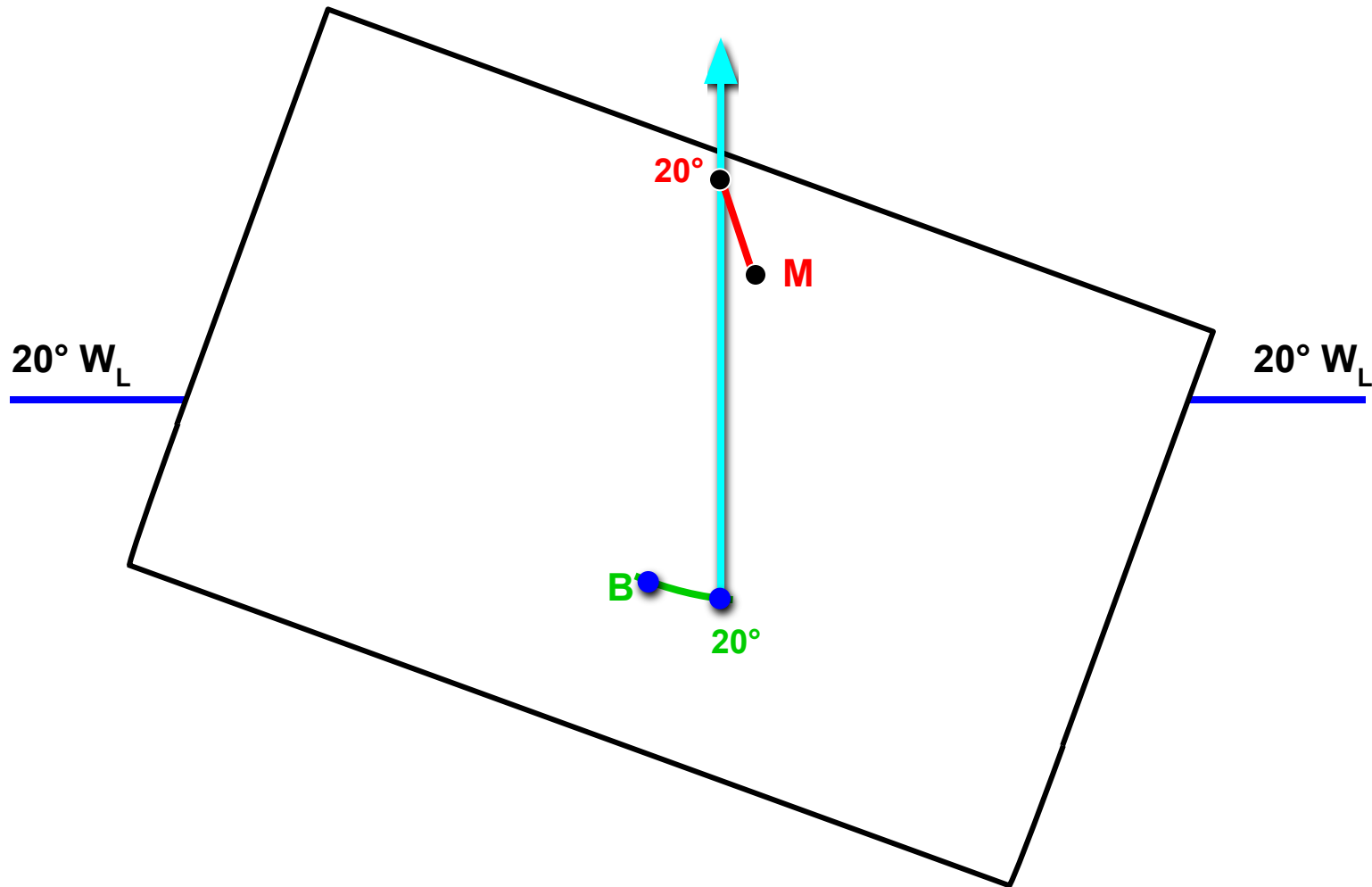


И центра величины В

## ...Перемещение метацентра M

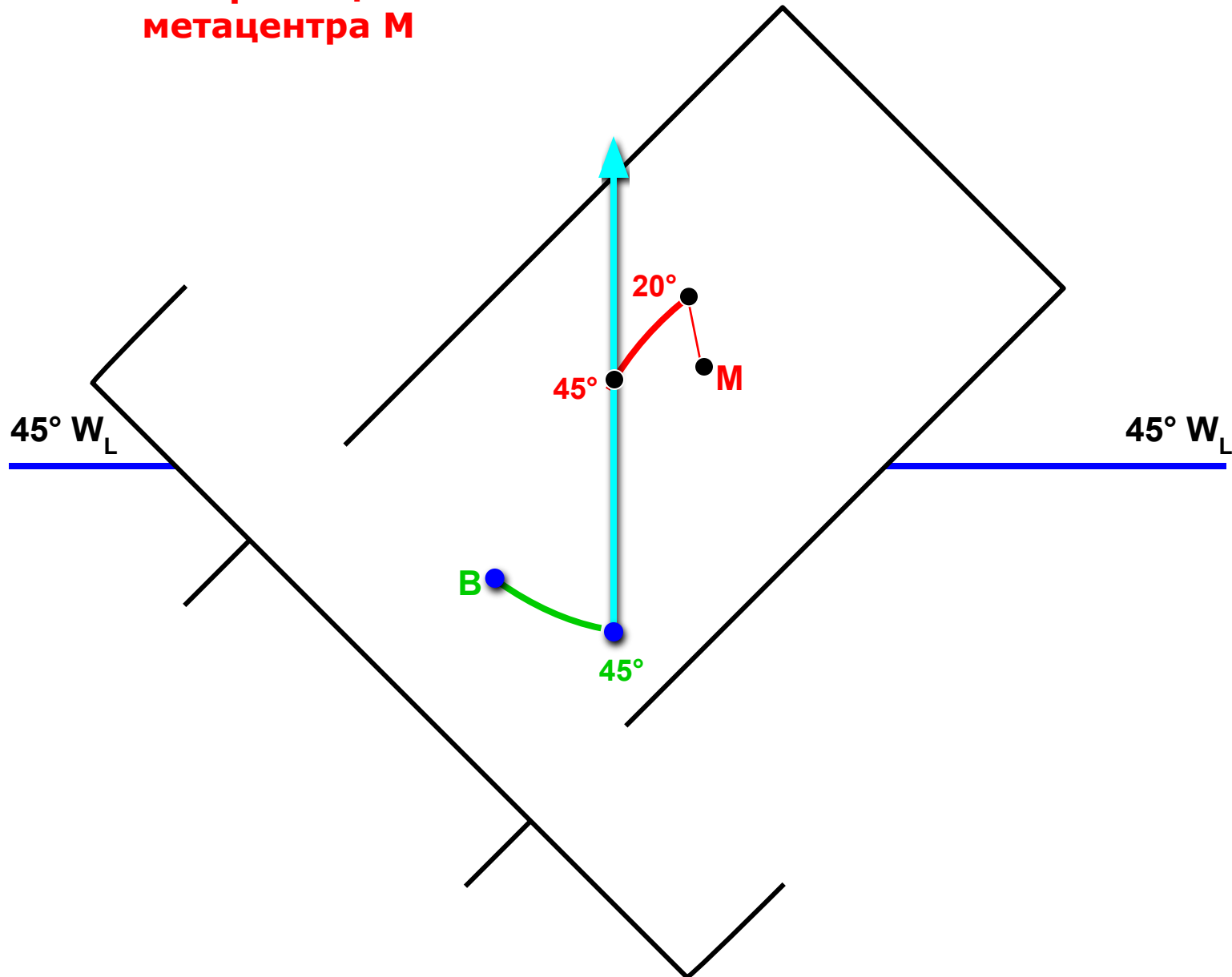


## ...Перемещение метацентра М

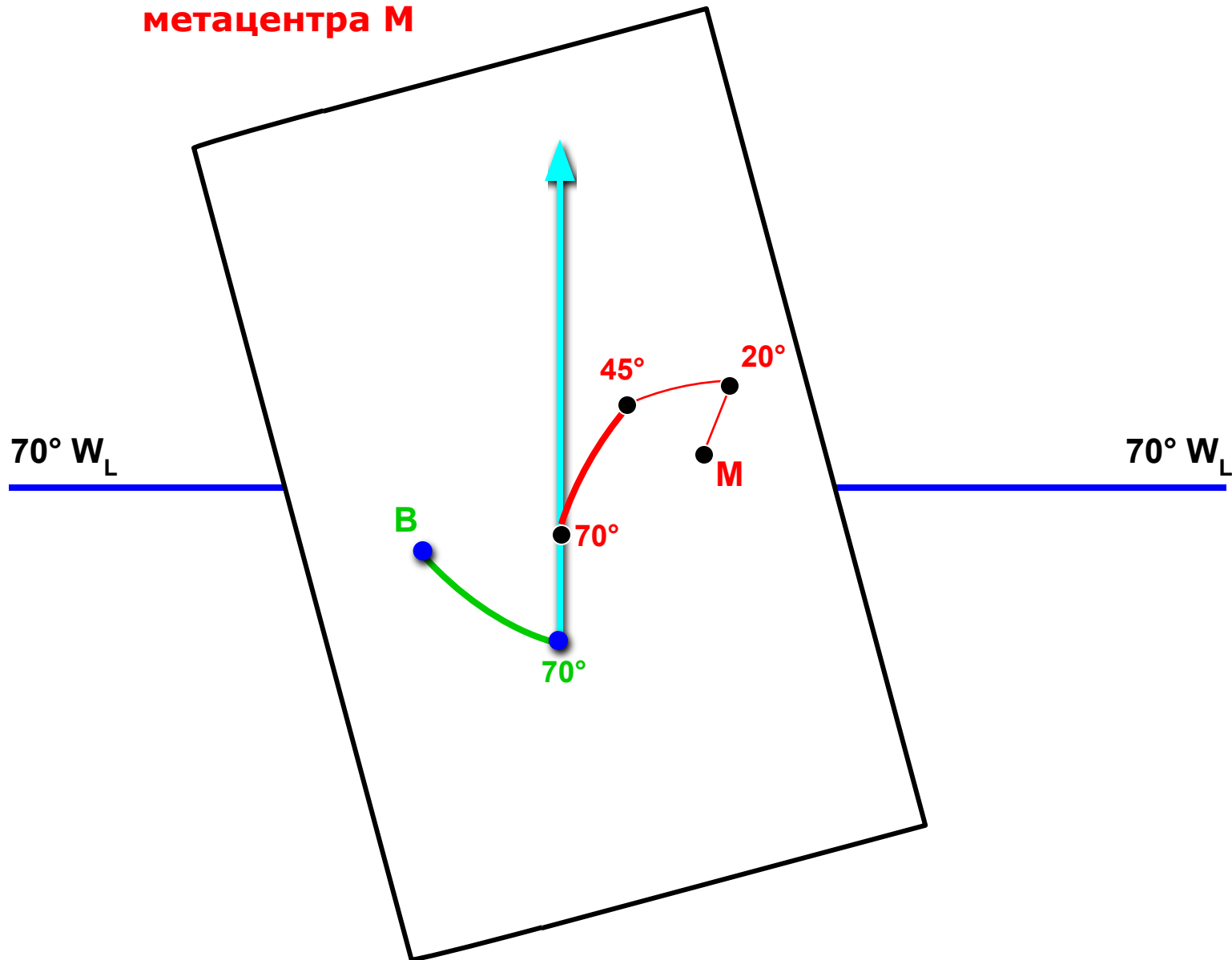




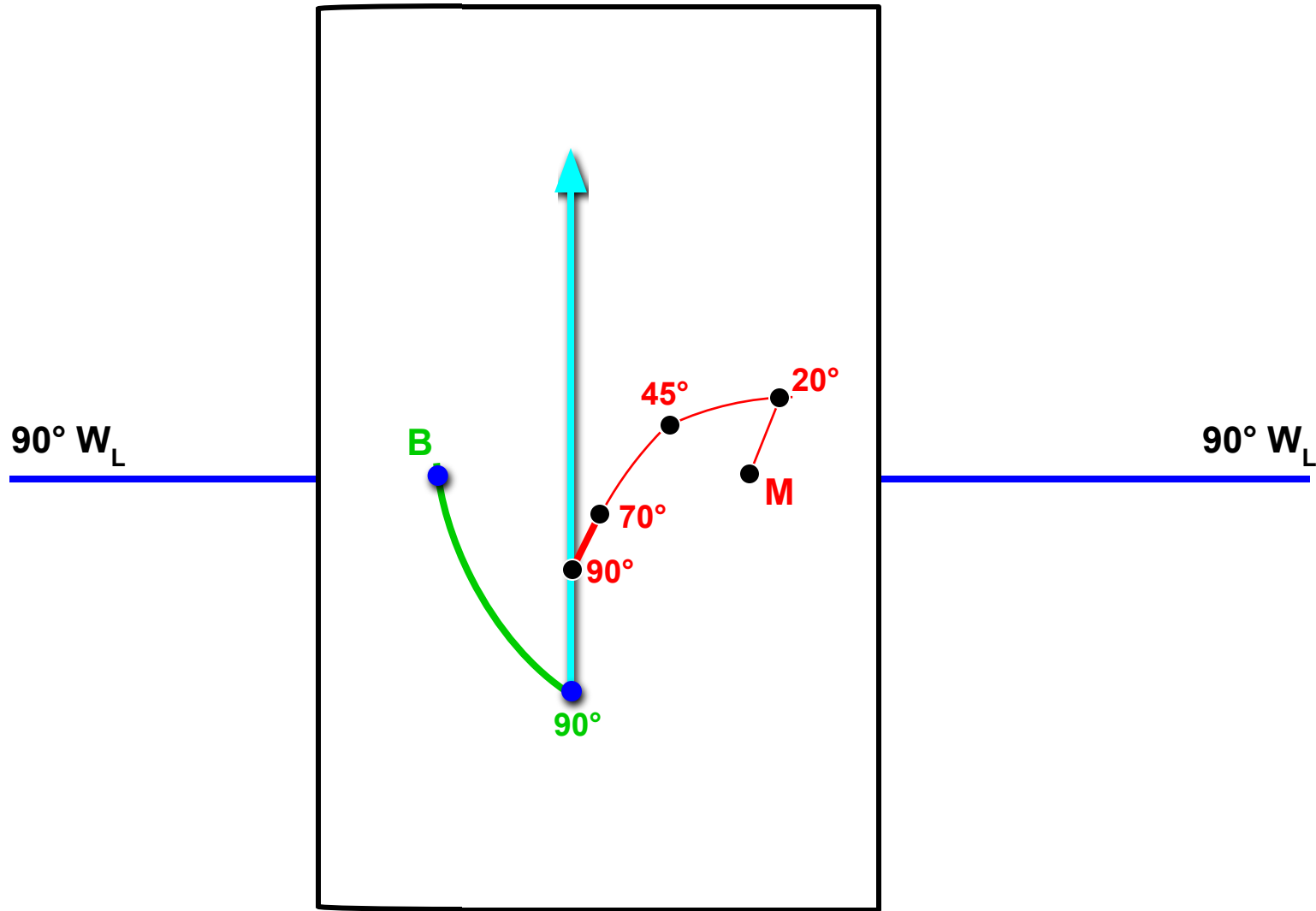
## ...Перемещение метацентра M



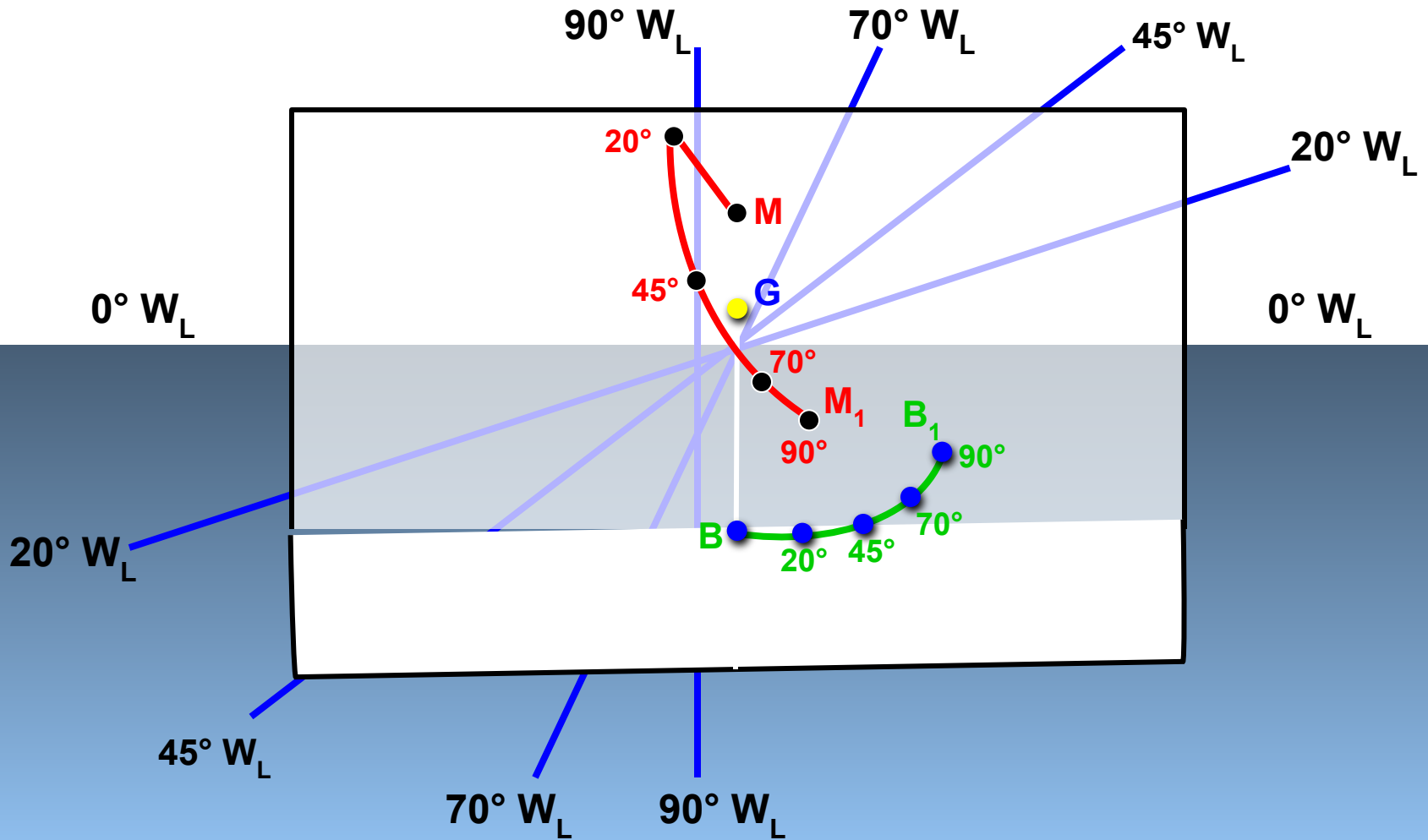
## ...Перемещение метацентра М

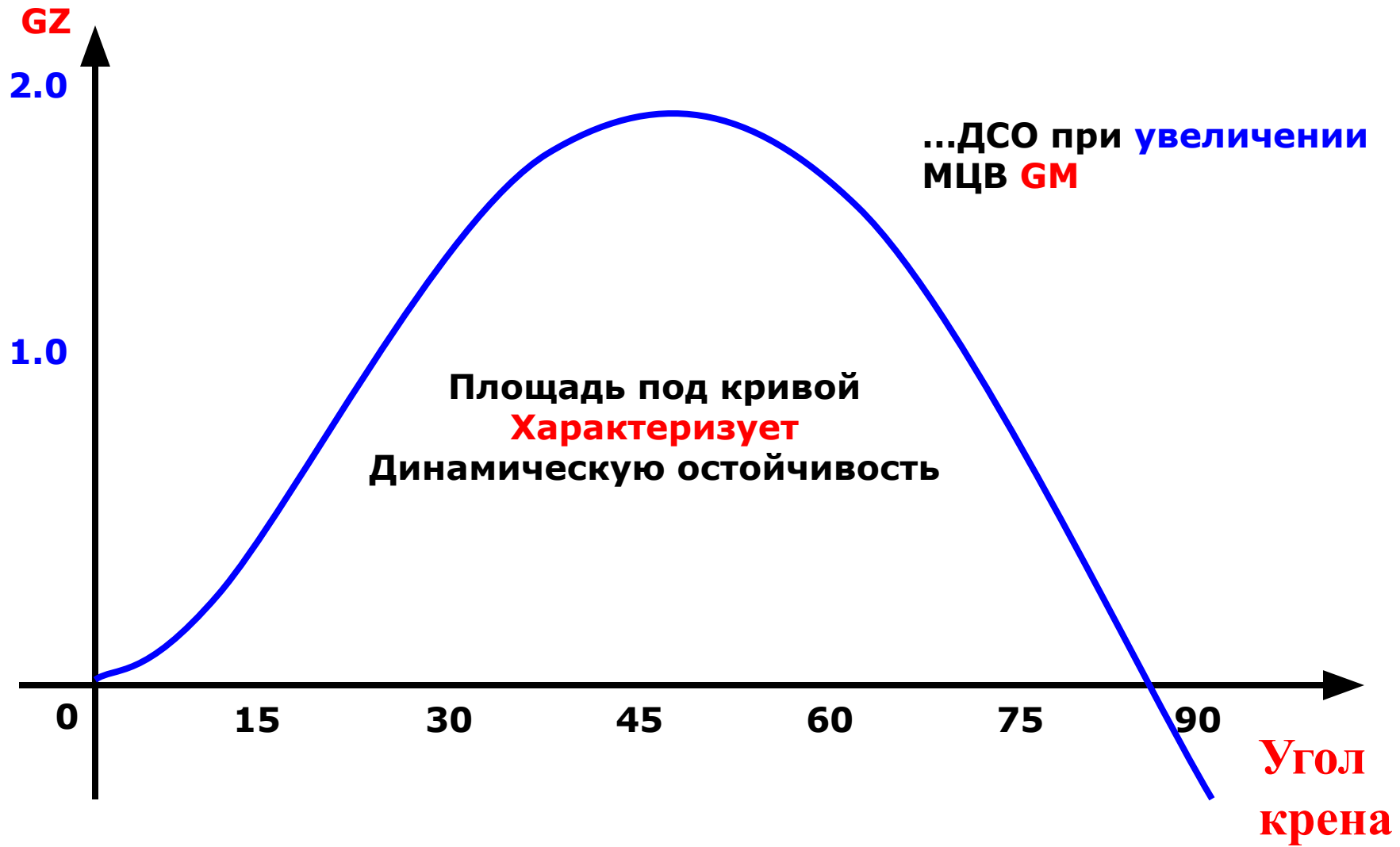


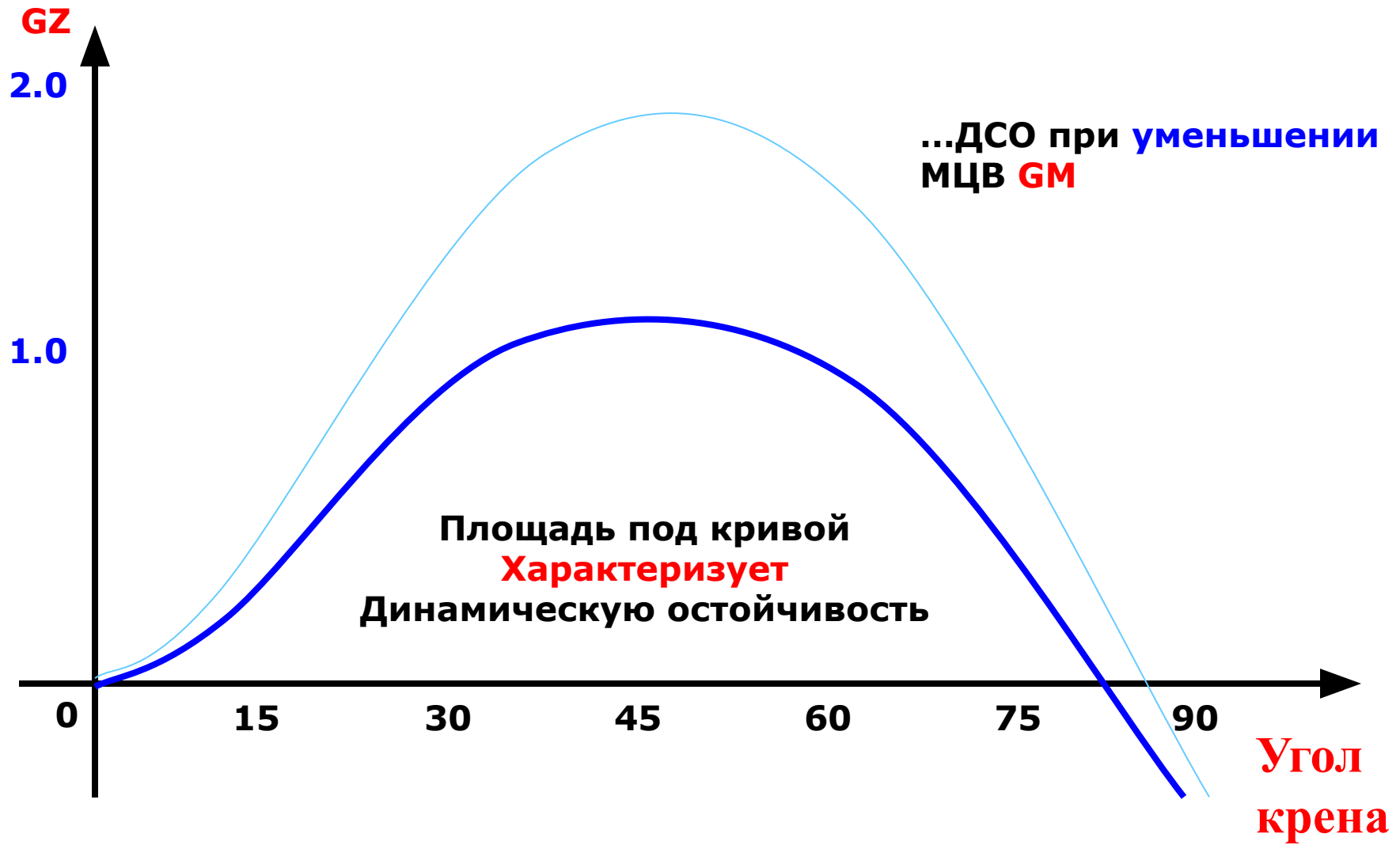
## ...Перемещение метацентра М

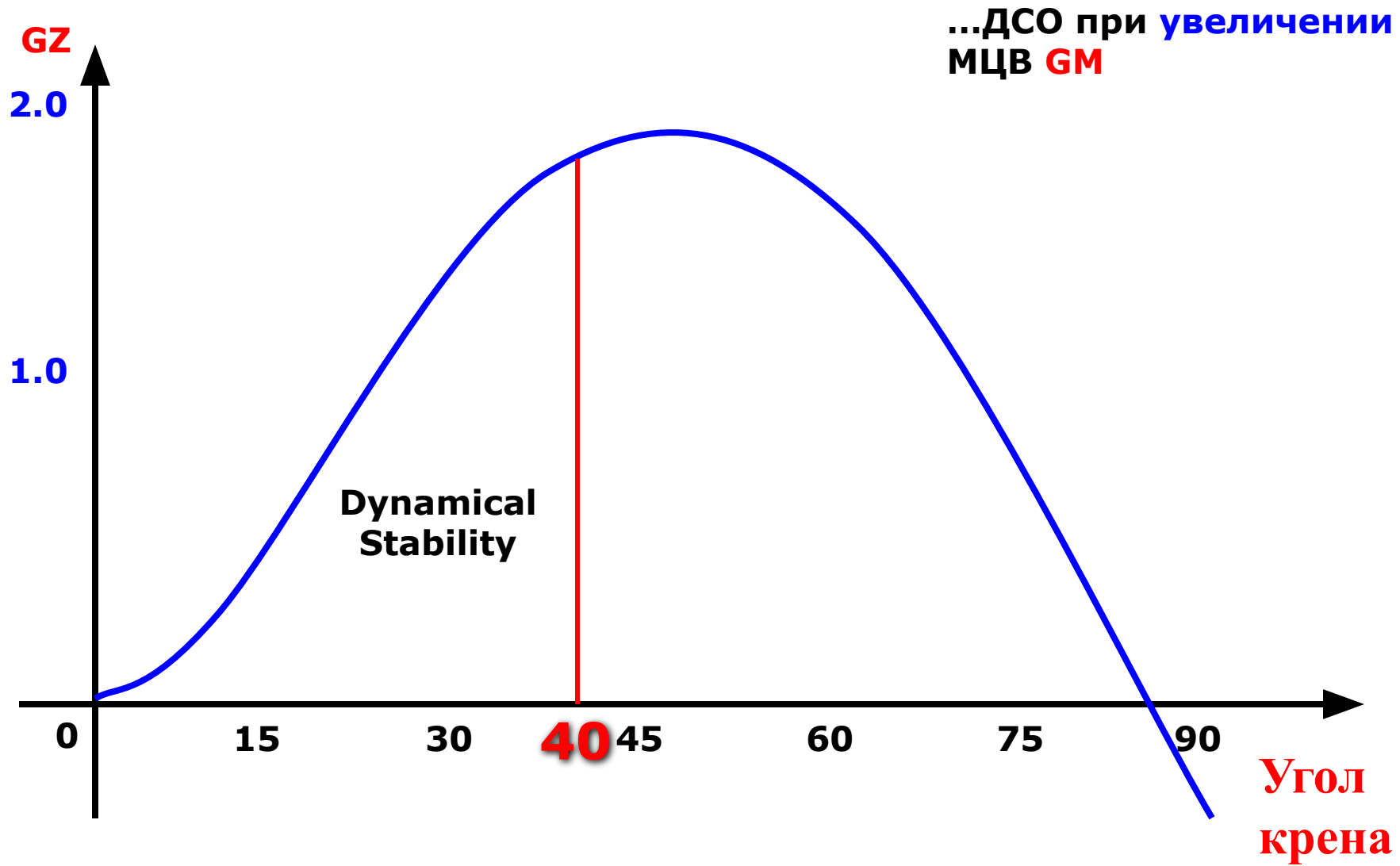


...Положения  
метacentра M

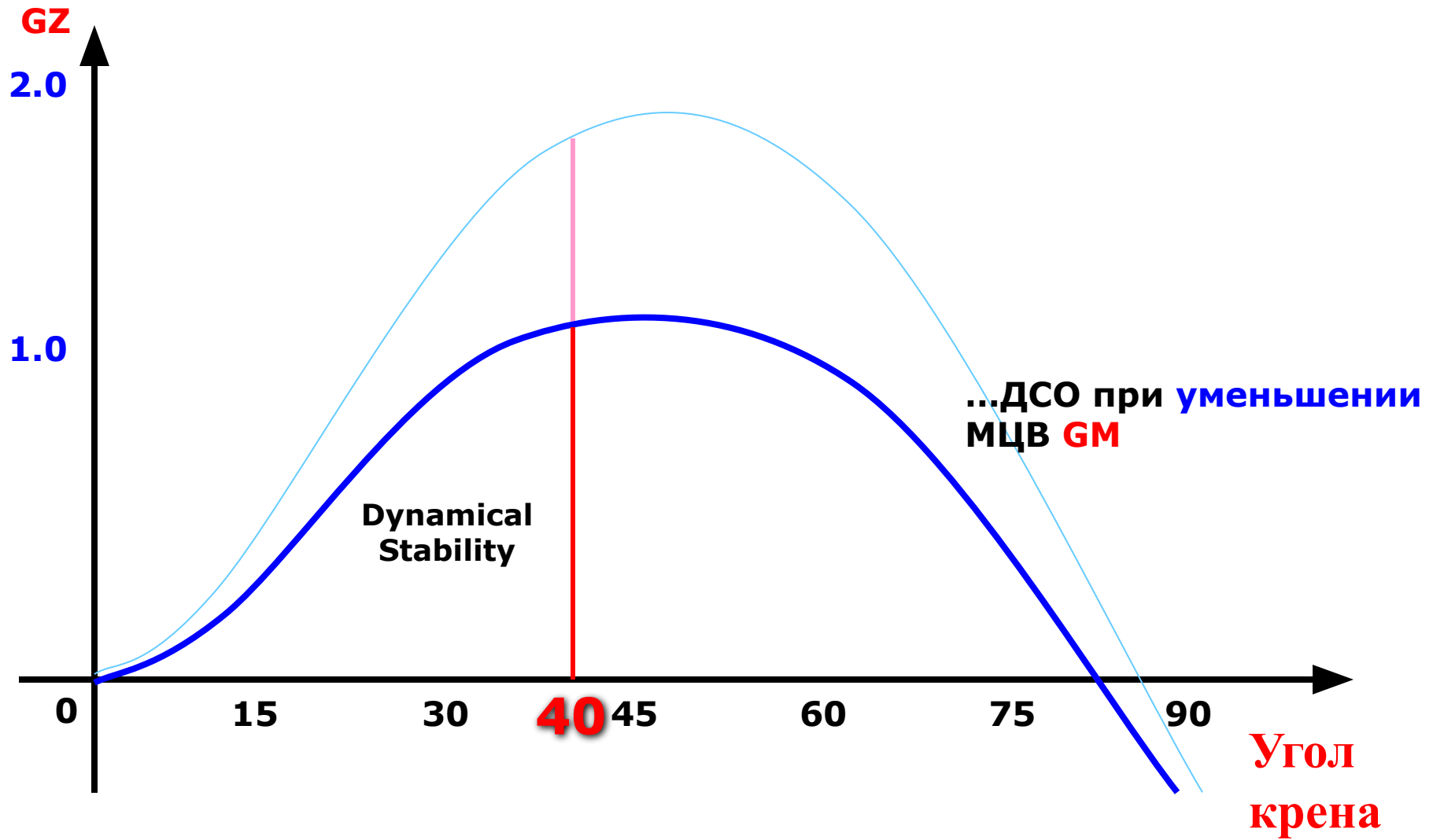






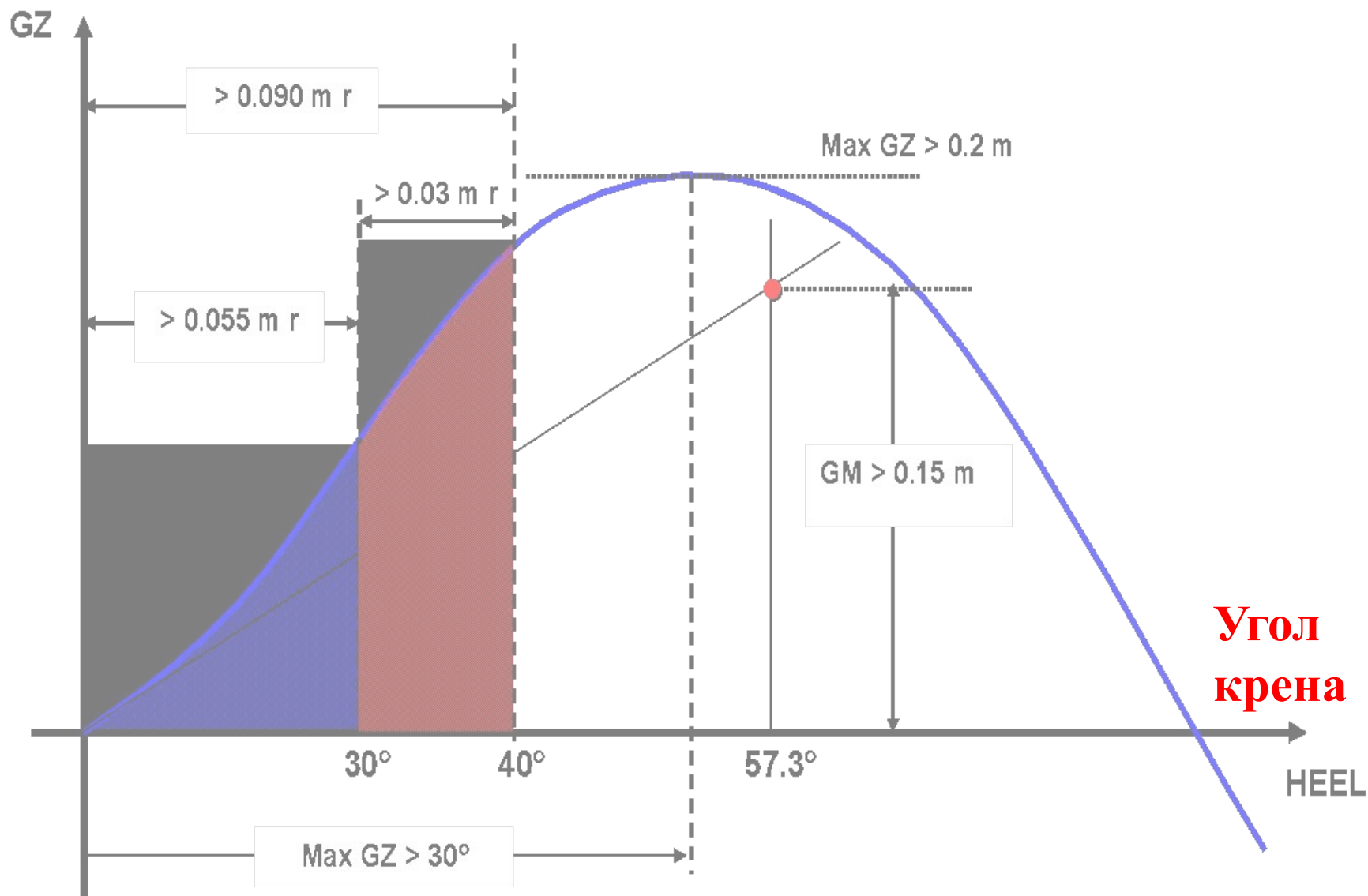






# Требования ИМО к остойчивости транспортных судов

## STABILITY REQUIREMENTS UNDER IMO LOAD LINE RULES



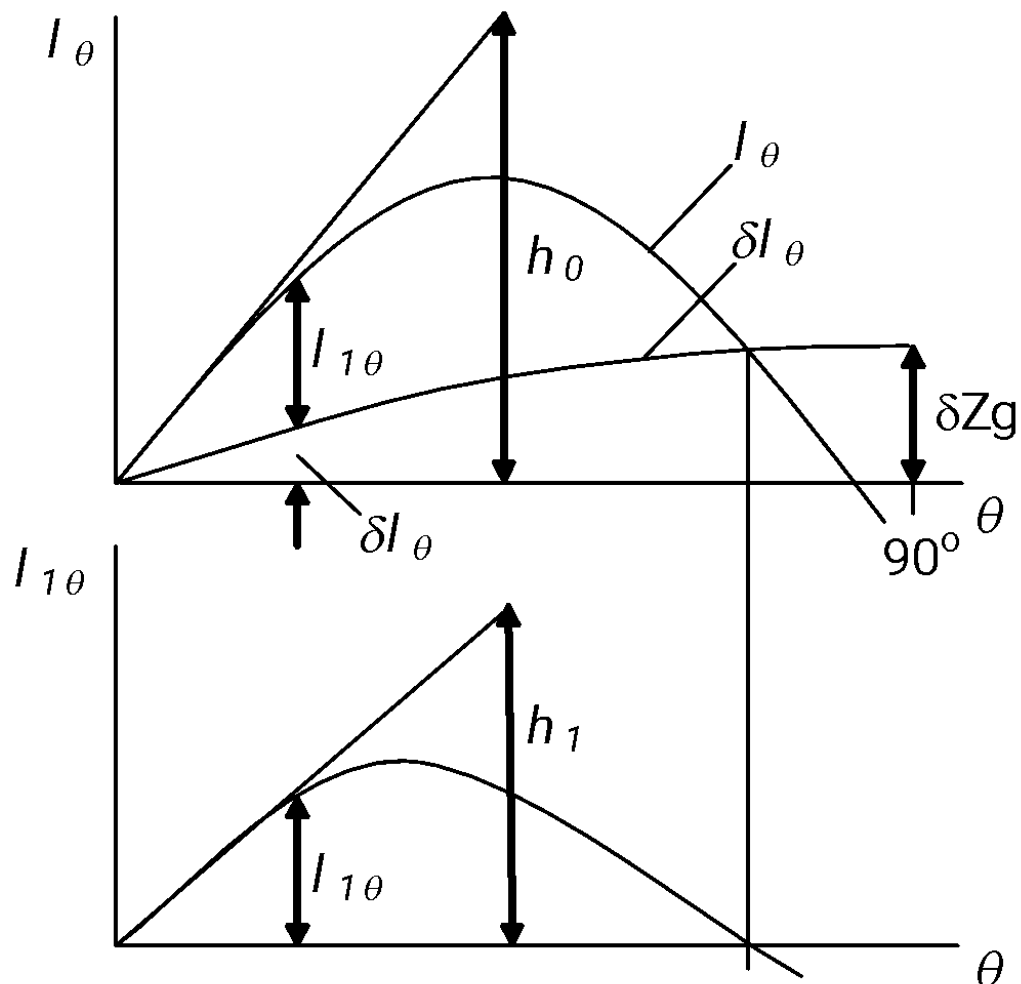
## Перемещение груза по вертикали

- При чисто вертикальном переносе  $\delta y_g = 0$  и  

$$\delta l_\theta = -\delta Z_g \sin\theta$$

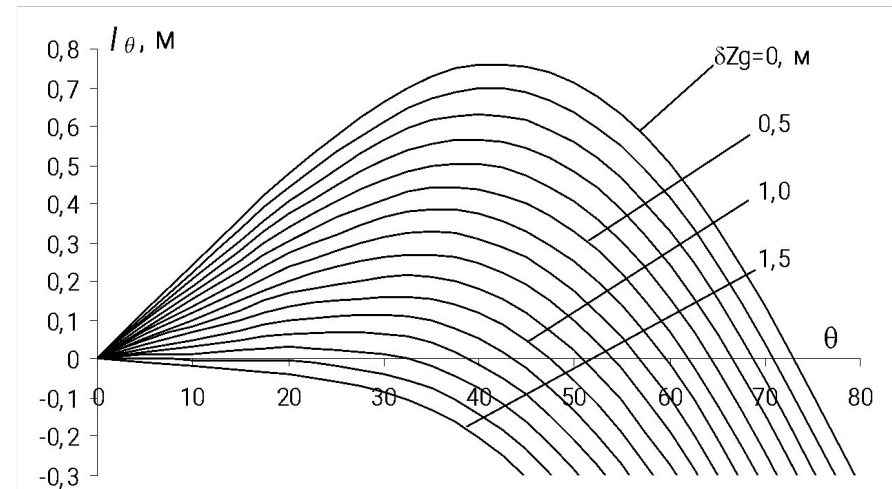
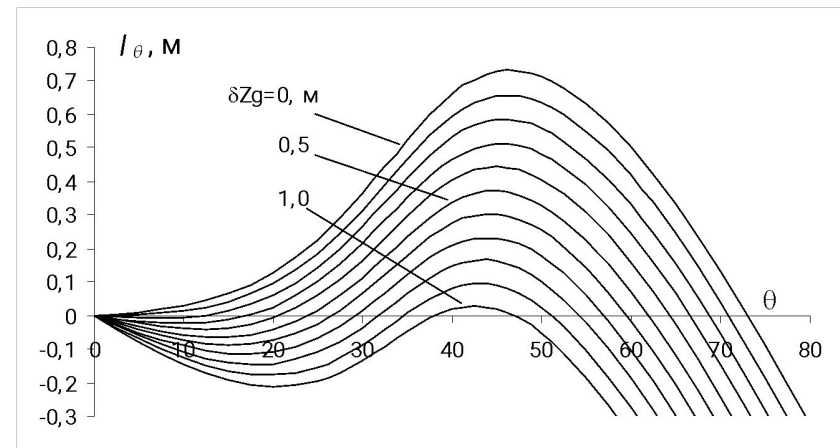
- Здесь меняется только остойчивость *веса*, а остойчивость *формы* остается неизменной
- При этом параметры ПОСАДКИ не меняются!
- Изменение метацентрической высоты определим как:

$$\delta l_\theta = -(\delta y_g \cos\theta + \delta z_g \sin\theta)$$



## Перемещение груза по вертикали

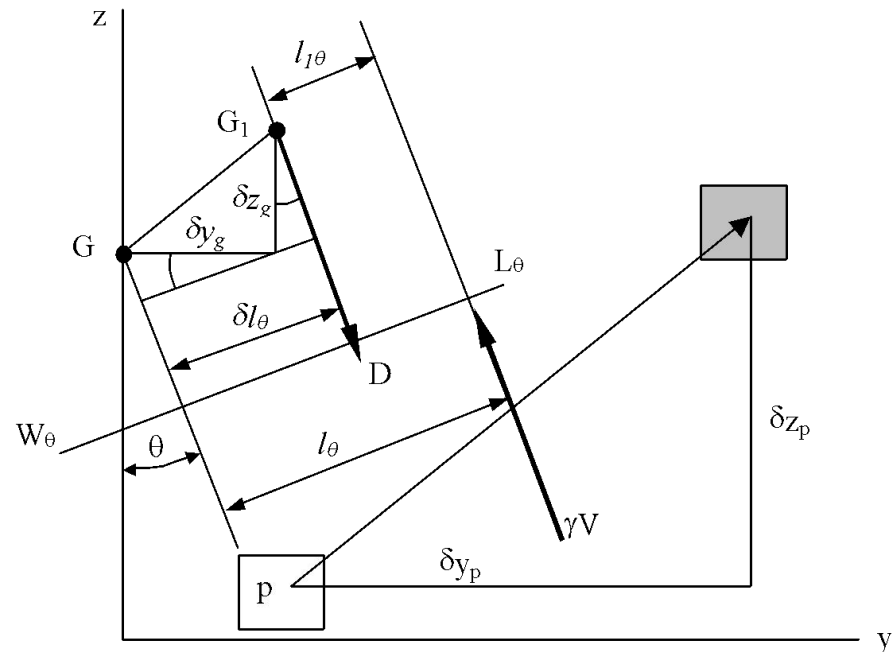
- Можно ли опрокинуть судно, перемещая груз по вертикали?
- Да.
- Но **высокобортные** суда, имеющие S-образную ДСО, опрокидываются получив вначале значительный крен,
- а **низкобортные** суда, имеющие выпуклую ДСО, опрокидываются внезапно из прямого положения



## Перемещение груза в поперечной плоскости

- Груз массы  $m$  (весом  $p=gm$ ) перемещается по горизонтали на расстояние  $dy_p$  и по вертикали на  $dz_p$ . Это приведет к перемещению центра тяжести судна из точки  $G$  в точку  $G_1$ .
- Величина этого перемещения может быть найдена из соотношений
- Из рисунка видно, что

$$\delta l_{\theta} = -(\delta y_g \cos \theta + \delta z_g \sin \theta)$$



$$\frac{dy_g}{dy_p} = \frac{p}{D} = \frac{m}{M} \quad \text{or} \quad dy_g = \frac{p dy_p}{D}$$

$$\frac{dz_g}{dz_p} = \frac{p}{D} = \frac{m}{M} \quad \text{or} \quad dz_g = \frac{p dz_p}{D}$$

## Перемещение груза по горизонтали поперёк судна

- При переносе груза появится кренящий момент

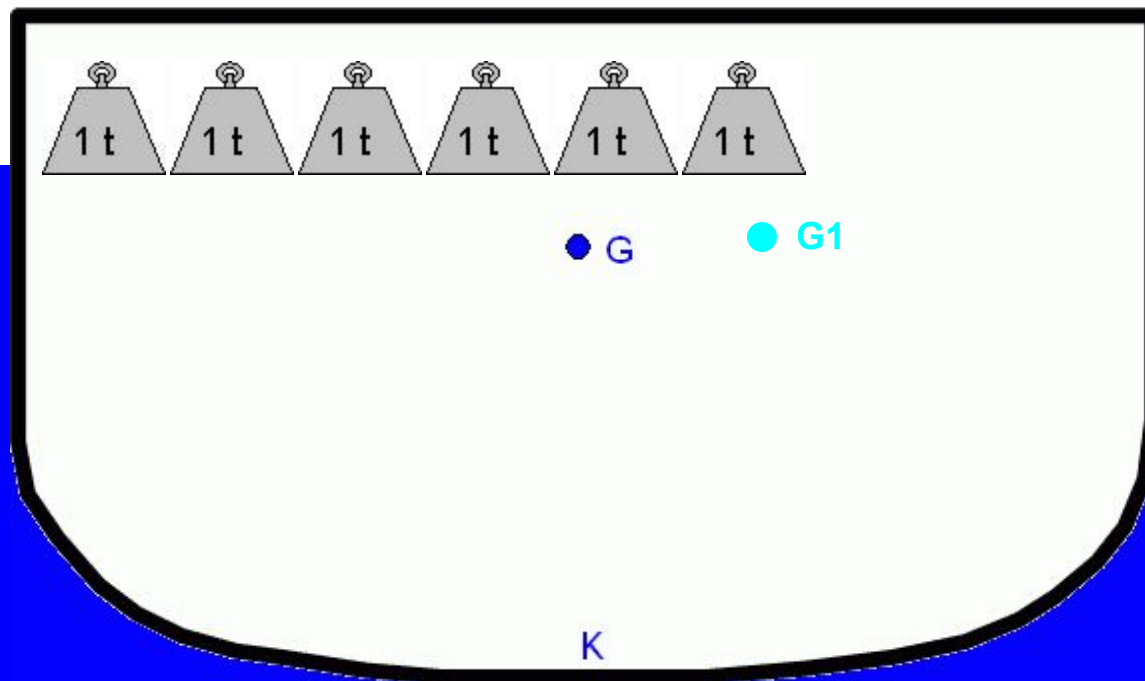
$$M_{кр} = \rho \times dy_p \times \cos q.$$

- Если угол крена можно считать малым, то его можно подсчитать по формуле

~~формула~~

$$q = \frac{\rho \times dy_p}{D h_0},$$

# Перемещение груза по горизонтали поперёк судна



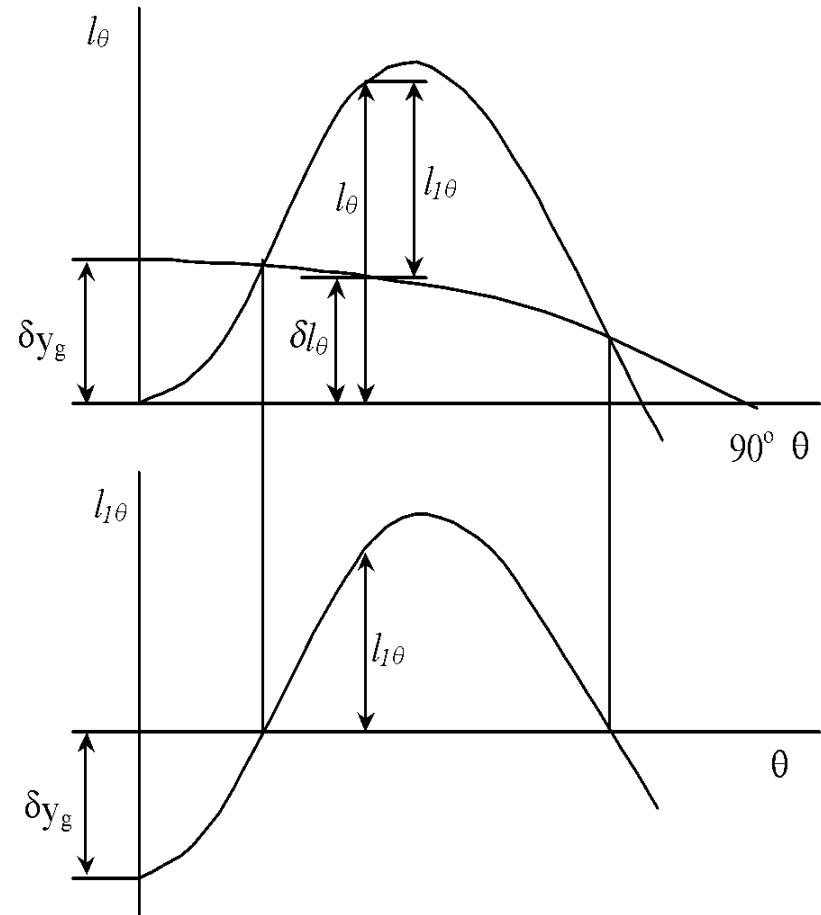
## Перемещение груза по горизонтали поперёк судна

- Если угол крена нельзя рассматривать как малый, то изменение диаграммы статической остойчивости можно подсчитать по формуле

$$\delta l_{\theta} = -(\delta y_g \cos \theta + \delta z_g \sin \theta)$$

$$\delta l_{\theta} = -\delta y_g \cos \theta$$

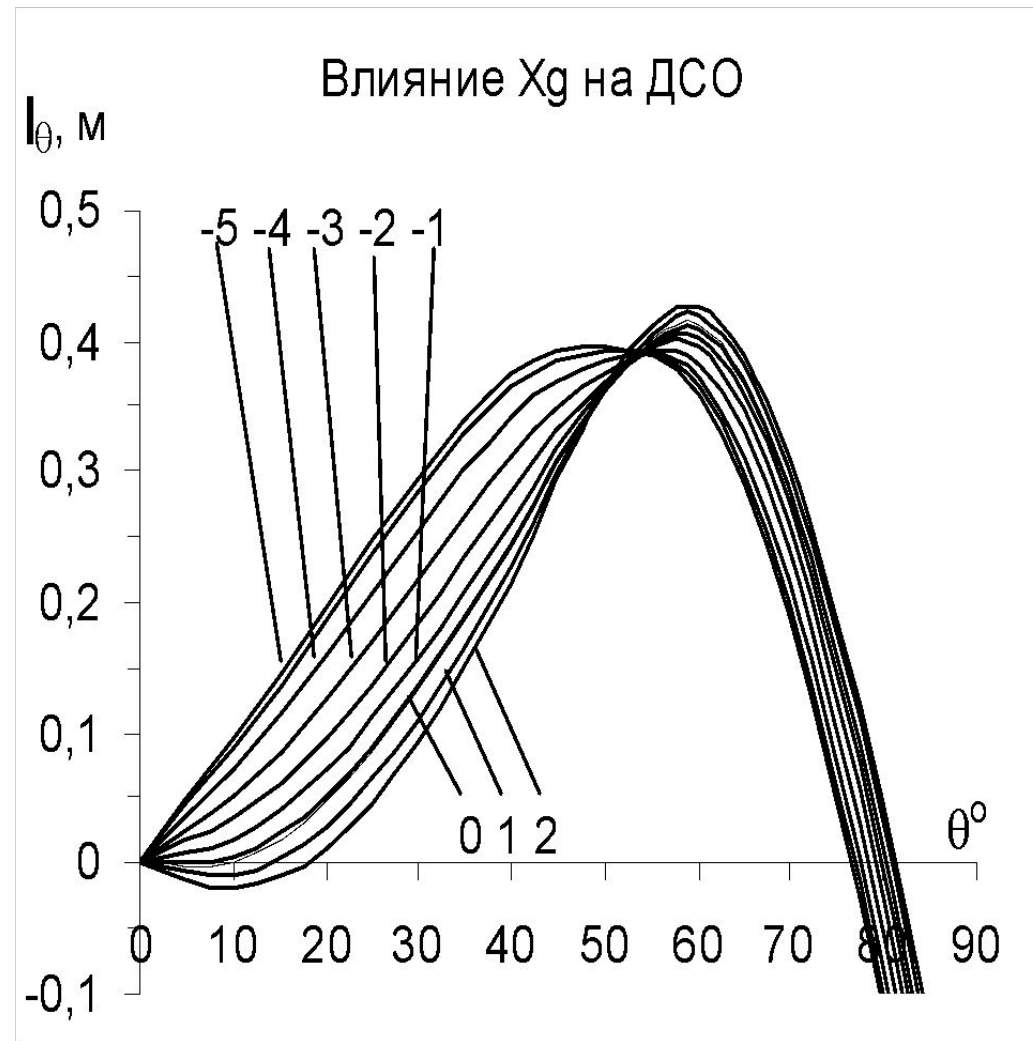
- Изменение ДСО дано на рисунке





# Перемещение груза по горизонтали вдоль судна

- Изменится ли **поперечная** остойчивость при переносе груза по горизонтали, но в **продольной плоскости**?
- Да, так как изменится угол дифферента, форма подводного объёма, плечи остойчивости формы и ДСО



## Влияние подвешенных грузов на остойчивость

- При наличии подвешенного груза создаётся дополнительный кренящий момент (или уменьшается восстанавливающий)

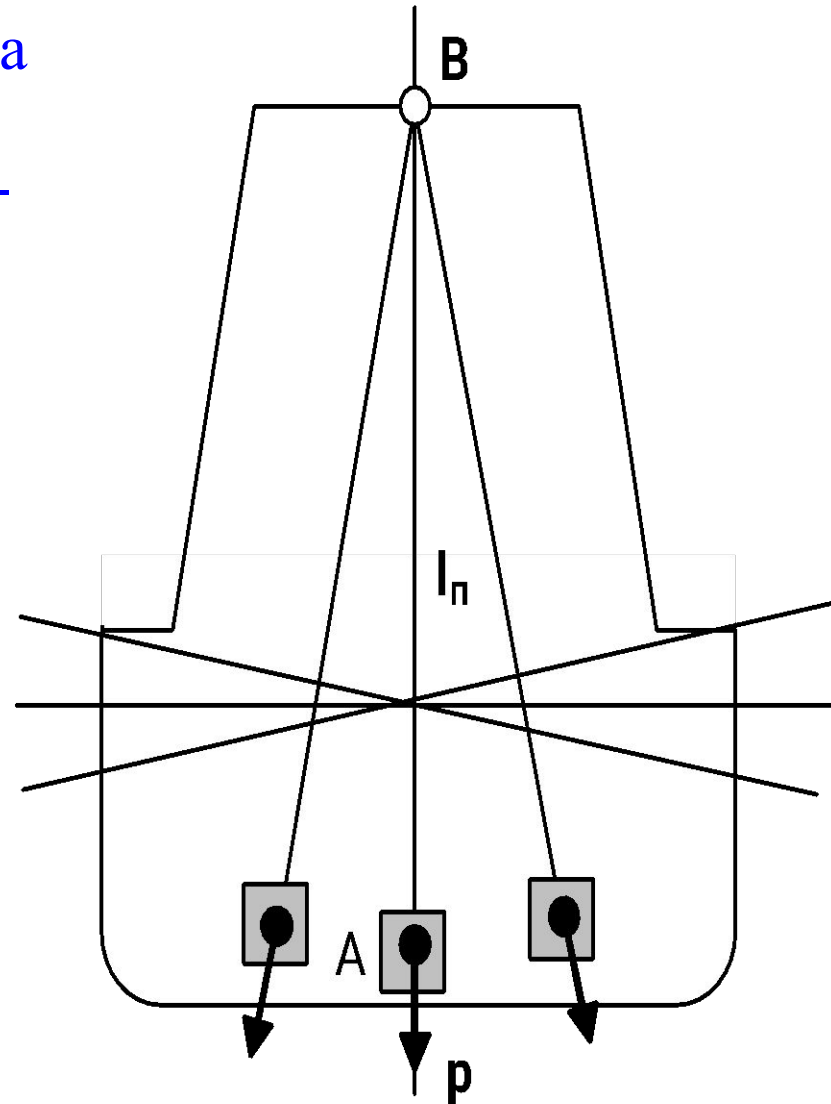
- $m_{кр} = pl_n \cos\theta$

- При этом

$$\delta h = -\frac{p \cdot l_n}{D} = -\frac{m \cdot l_n}{M}$$

- Это равносильно переносу груза по вертикали из точки А в точку В, т.е.

$$\delta z_p = l_n$$



## Прием подвешенного груза

# HEAVY LIFT INCIDENT on December 10, 2003

at Port of Albany

*Hudson River, NY*





Kg



STELLAMARE







Подвешенный  
груз



СУММАРНАЯ грузоподъёмность  
судовых кранов *больше* веса груза...





9 11:06 PM























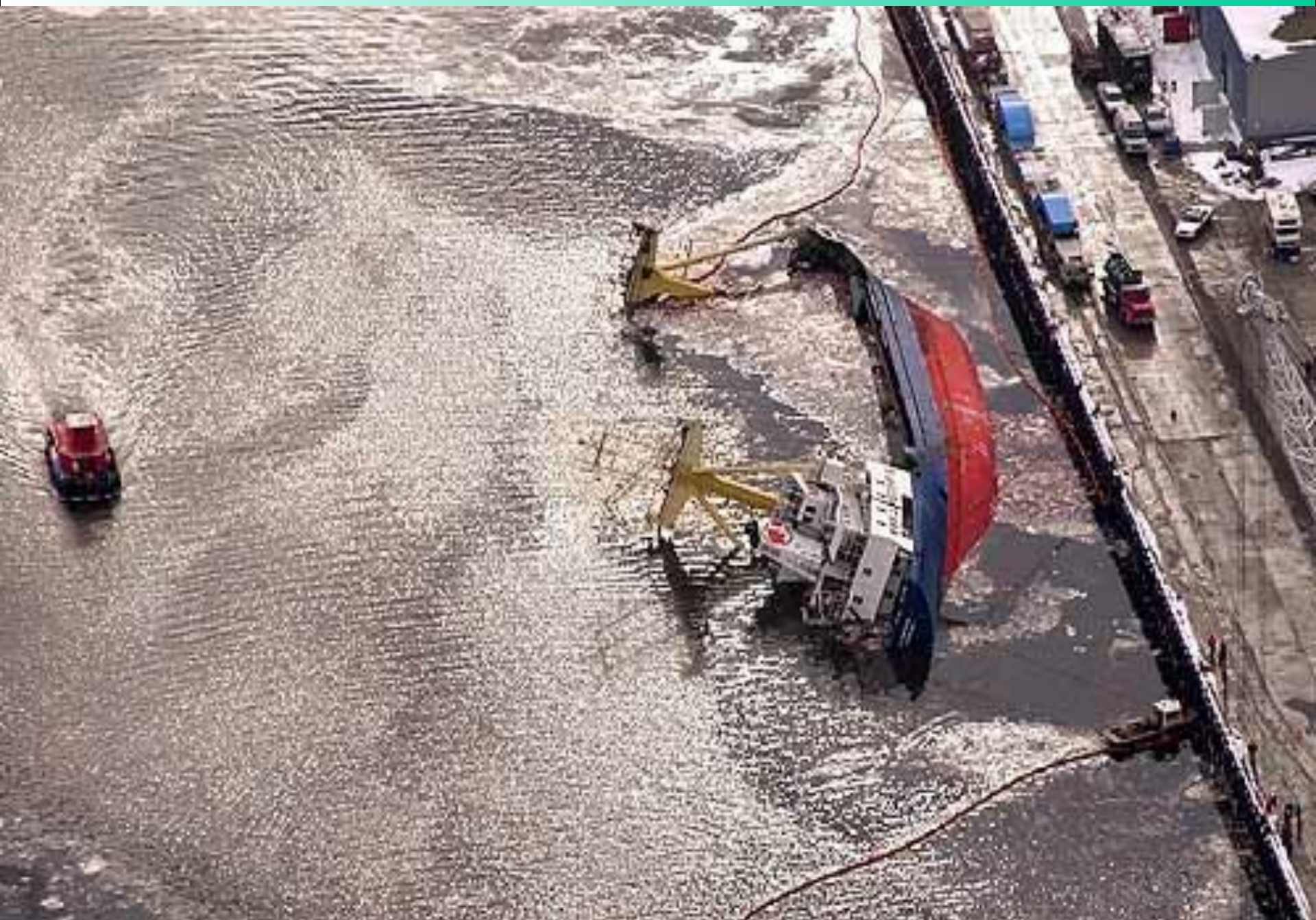




















# Прибыло крановое судно...



Поднимают тяжеловес...

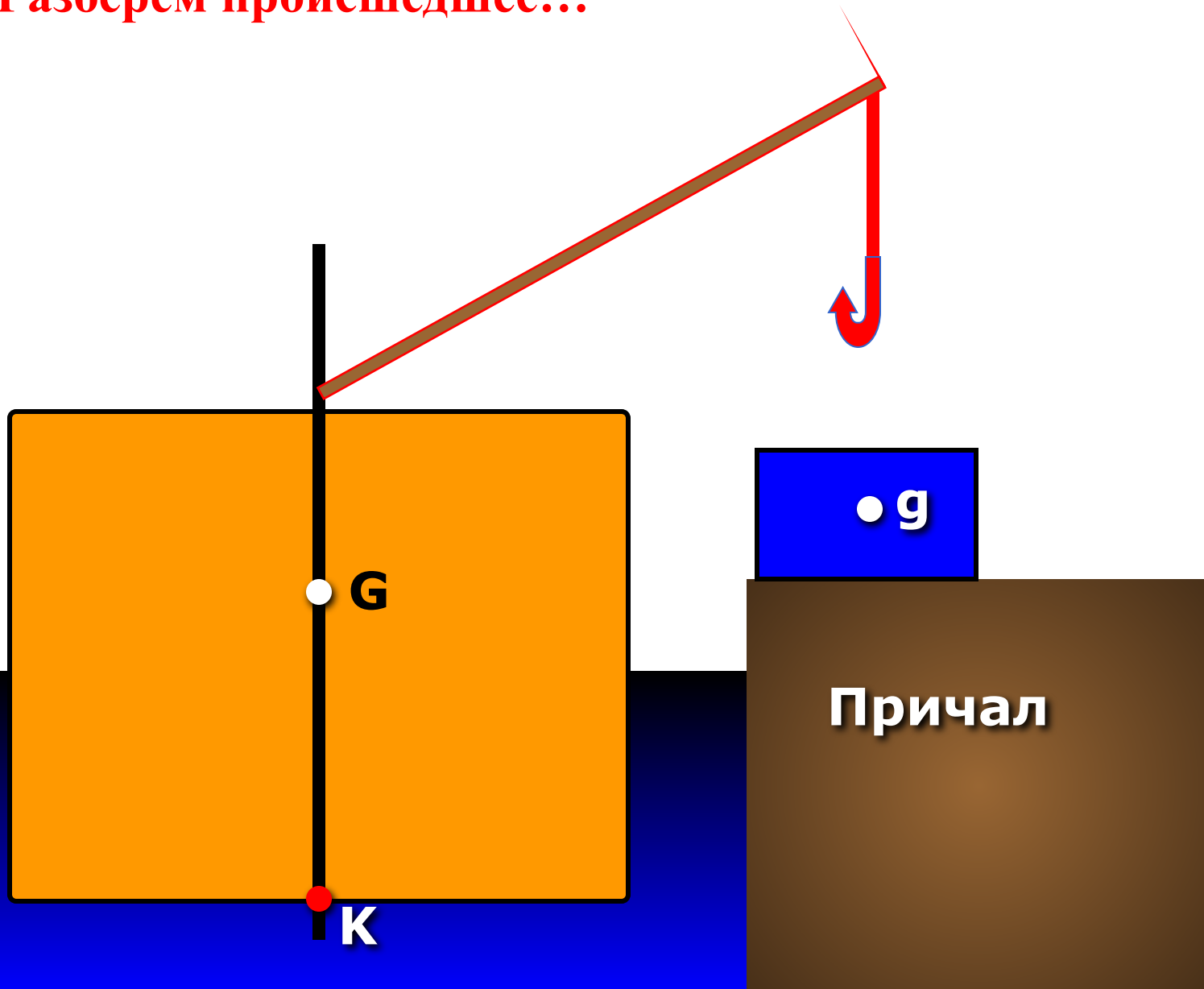




А теперь и судно...

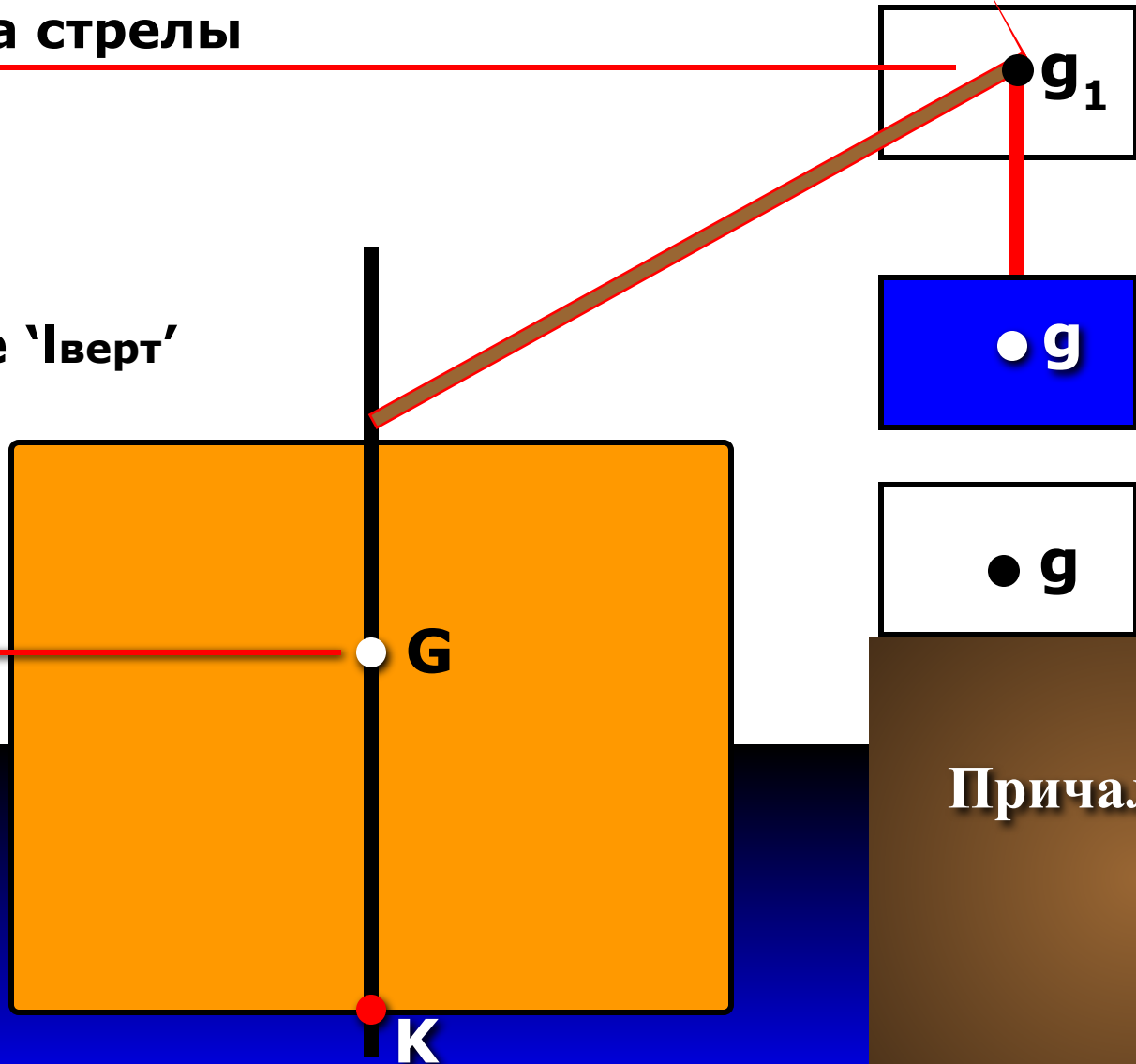


# Разберем происшедшее...

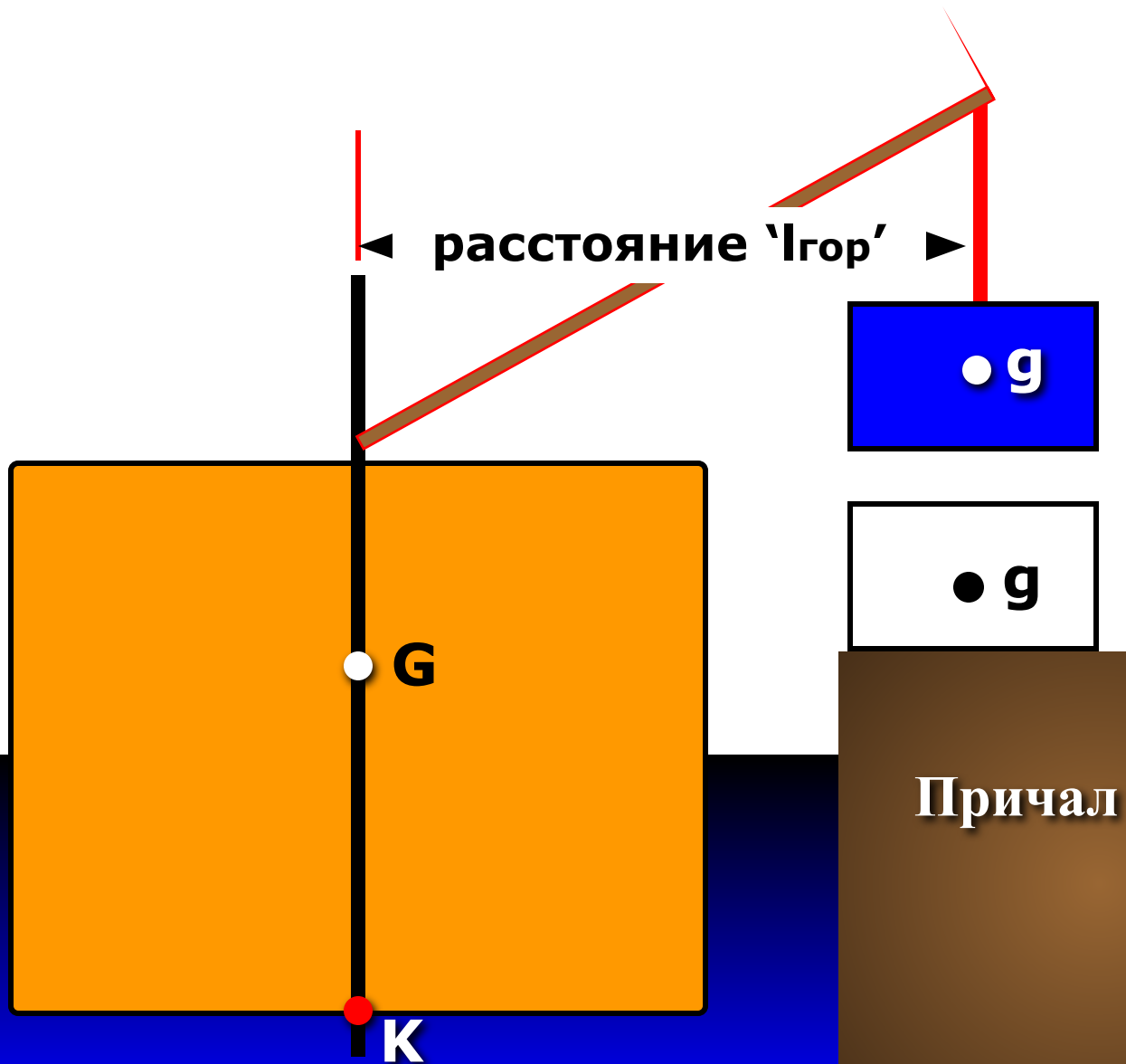


Уровень нока стрелы

расстояние 'верт'



Причал





# Начальное состояние

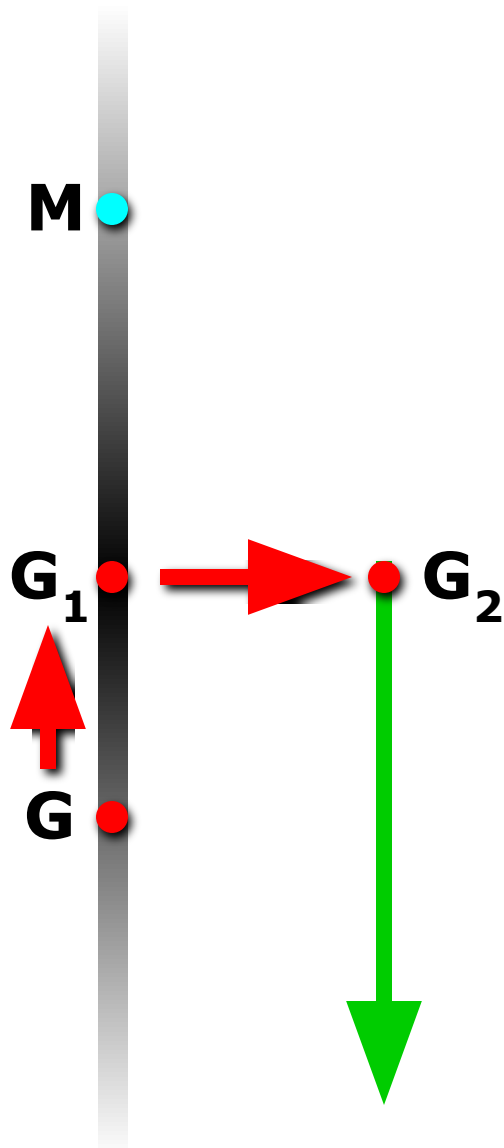


# Перемещение ЦТ по вертикали при приеме груза (смещение метацентра обычно мало и здесь не учитывается)



$$1. \quad GG_1 = \frac{p \times l_{\text{верт}}}{D + p}$$

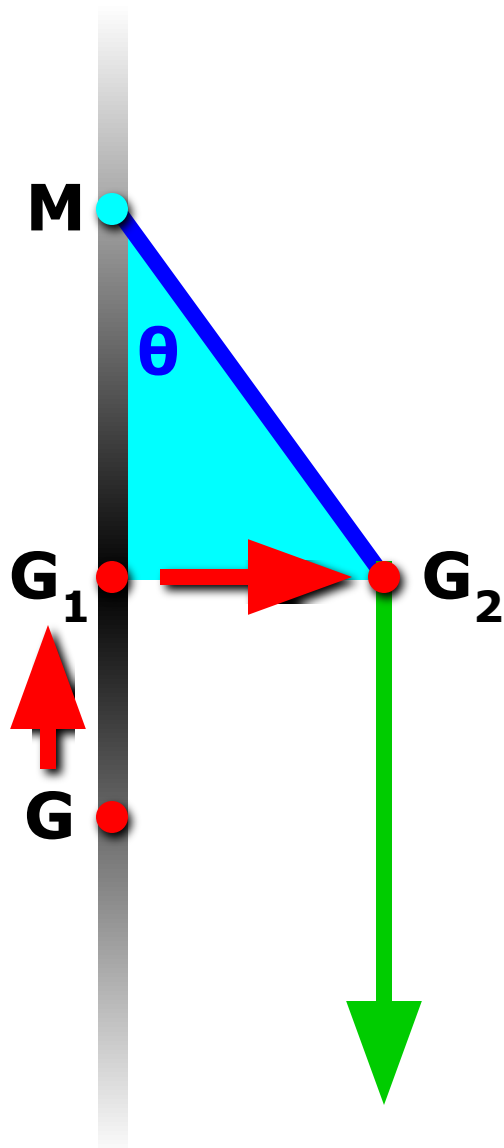
## Смещение ЦТ по горизонтали



$$1. \quad GG_1 \uparrow = \frac{p \times l_{\text{верт}}}{D + p}$$

$$2. \quad G_1G_2 \rightarrow = \frac{p \times l_{\text{гор}}}{D + p}$$

## Наклонение...

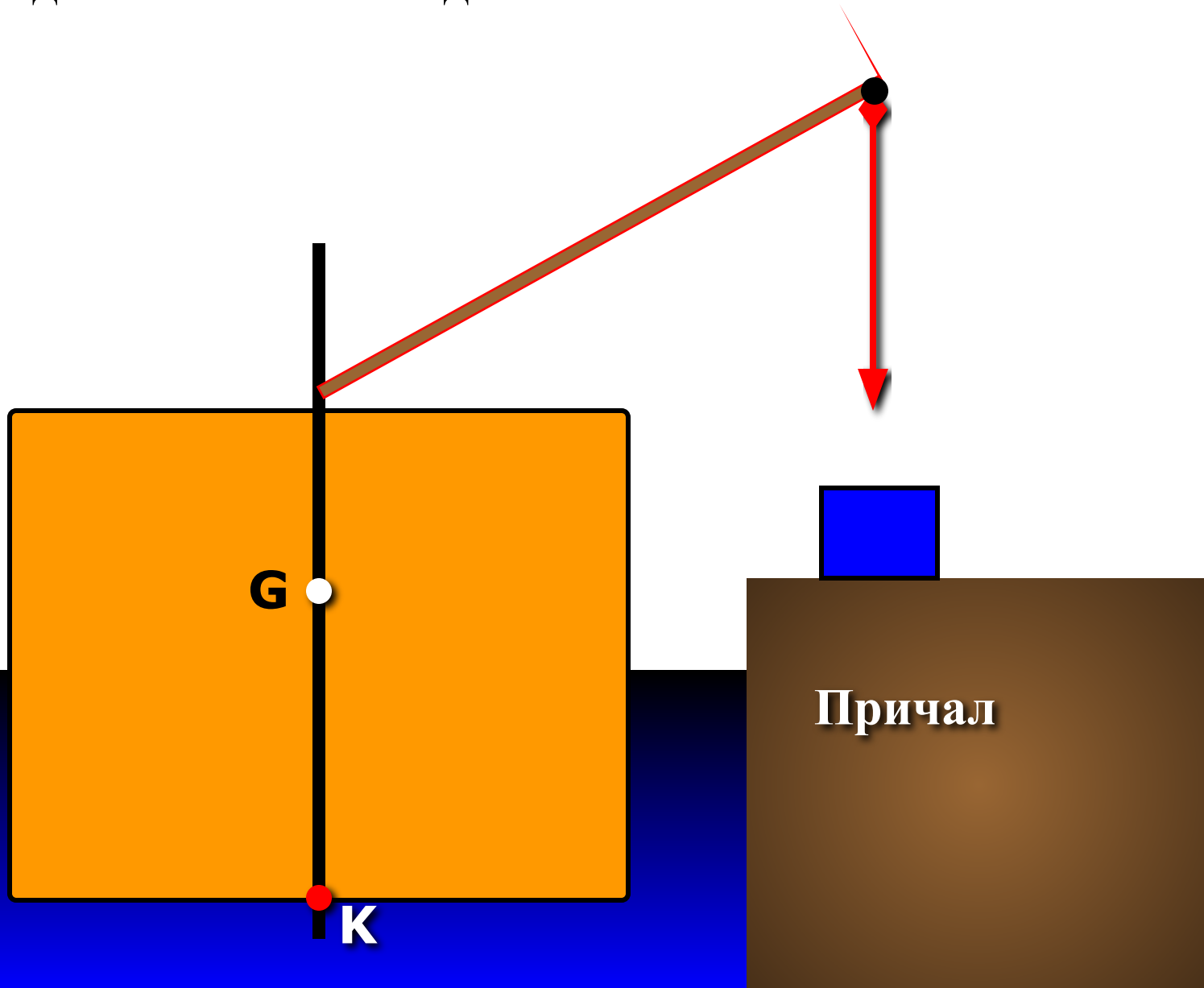


$$1. \quad GG_1 \uparrow = \frac{\rho \times I_{\text{верт}}}{D + \rho}$$

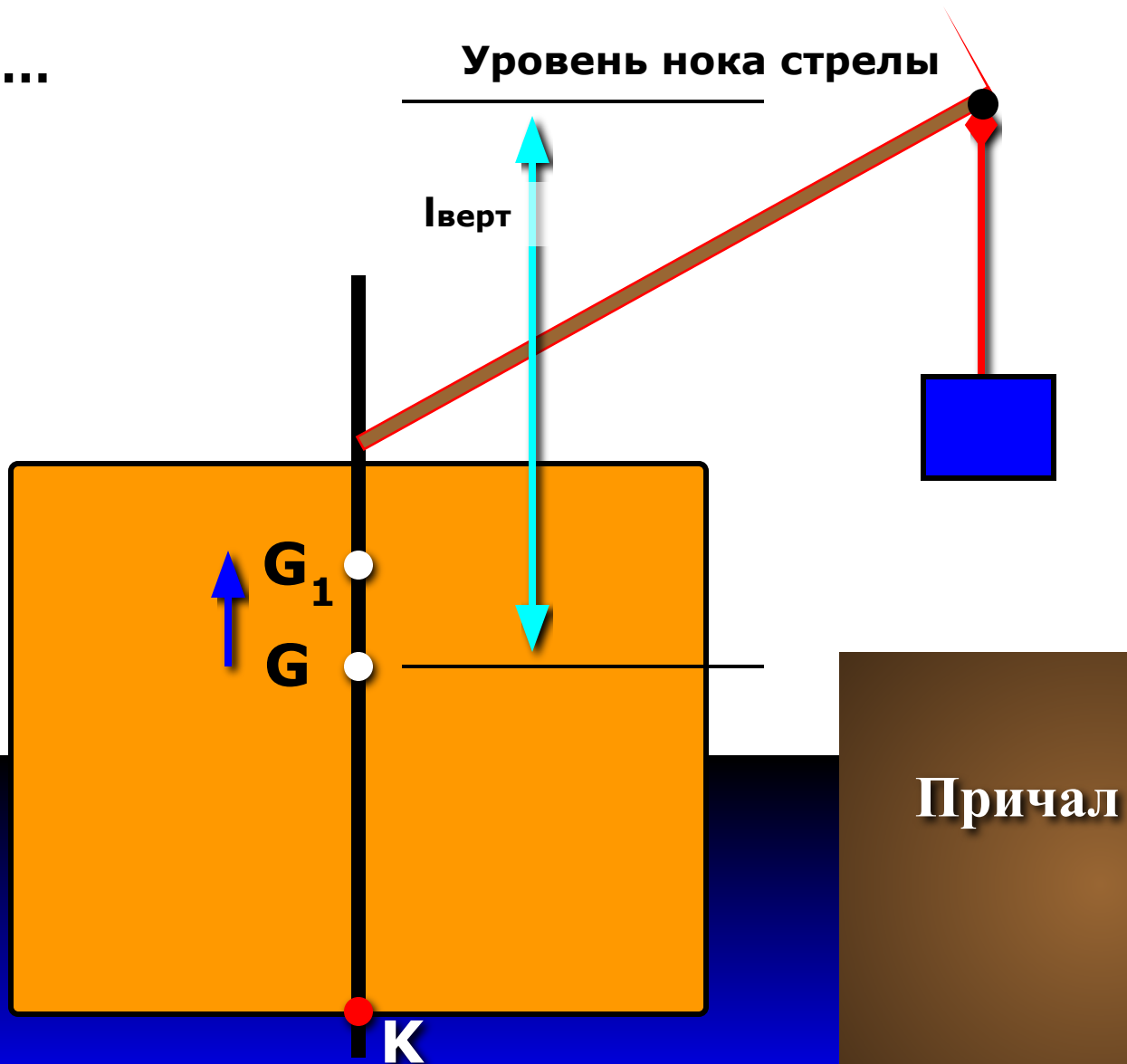
$$2. \quad G_1G_2 \rightarrow = \frac{\rho \times I_{\text{гор}}}{D + \rho}$$

$$3. \quad \tan \theta = \frac{G_1G_2 \rightarrow}{G_1M}$$

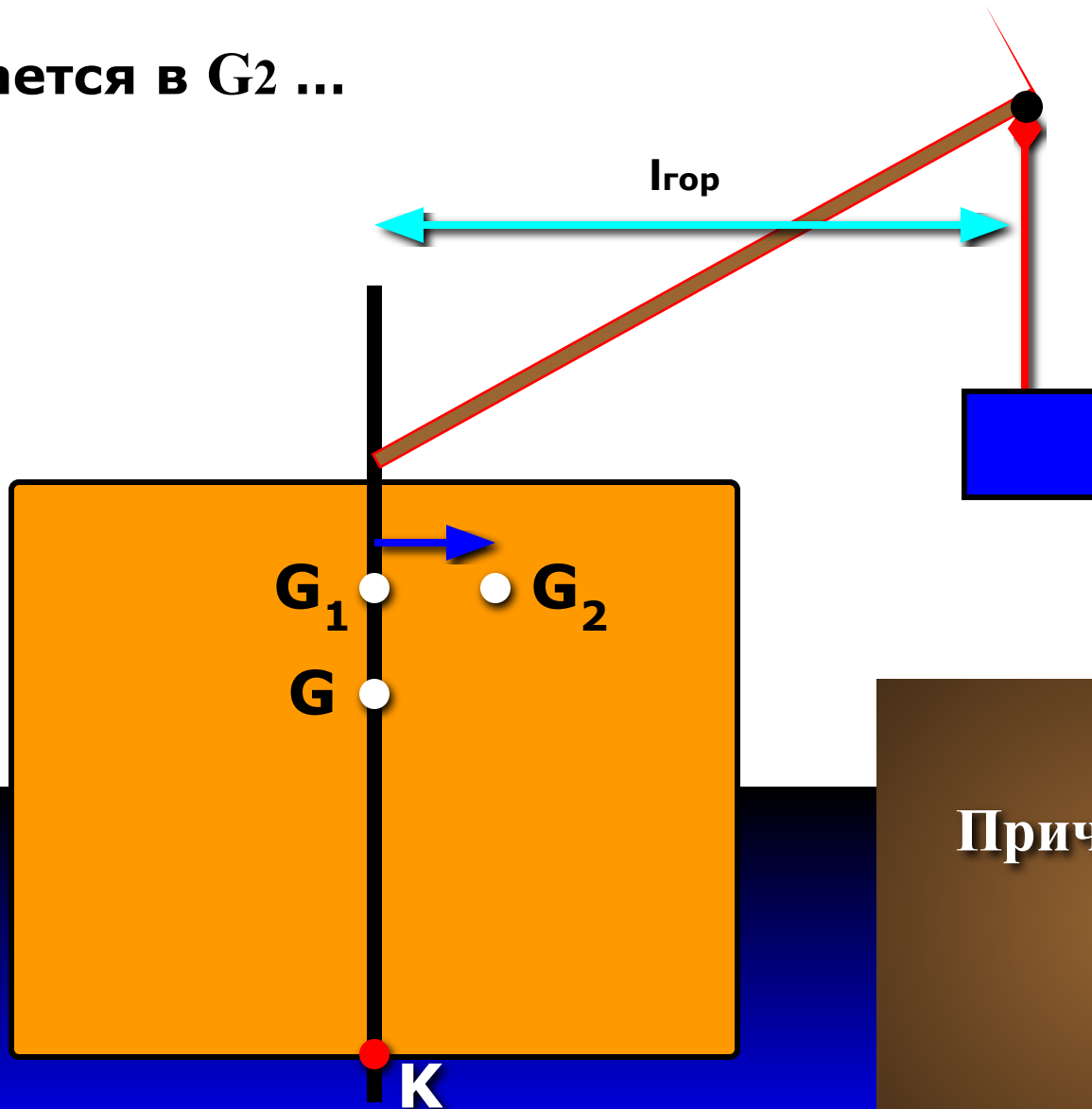
## Предполагаемая последовательность



Поднимаем...

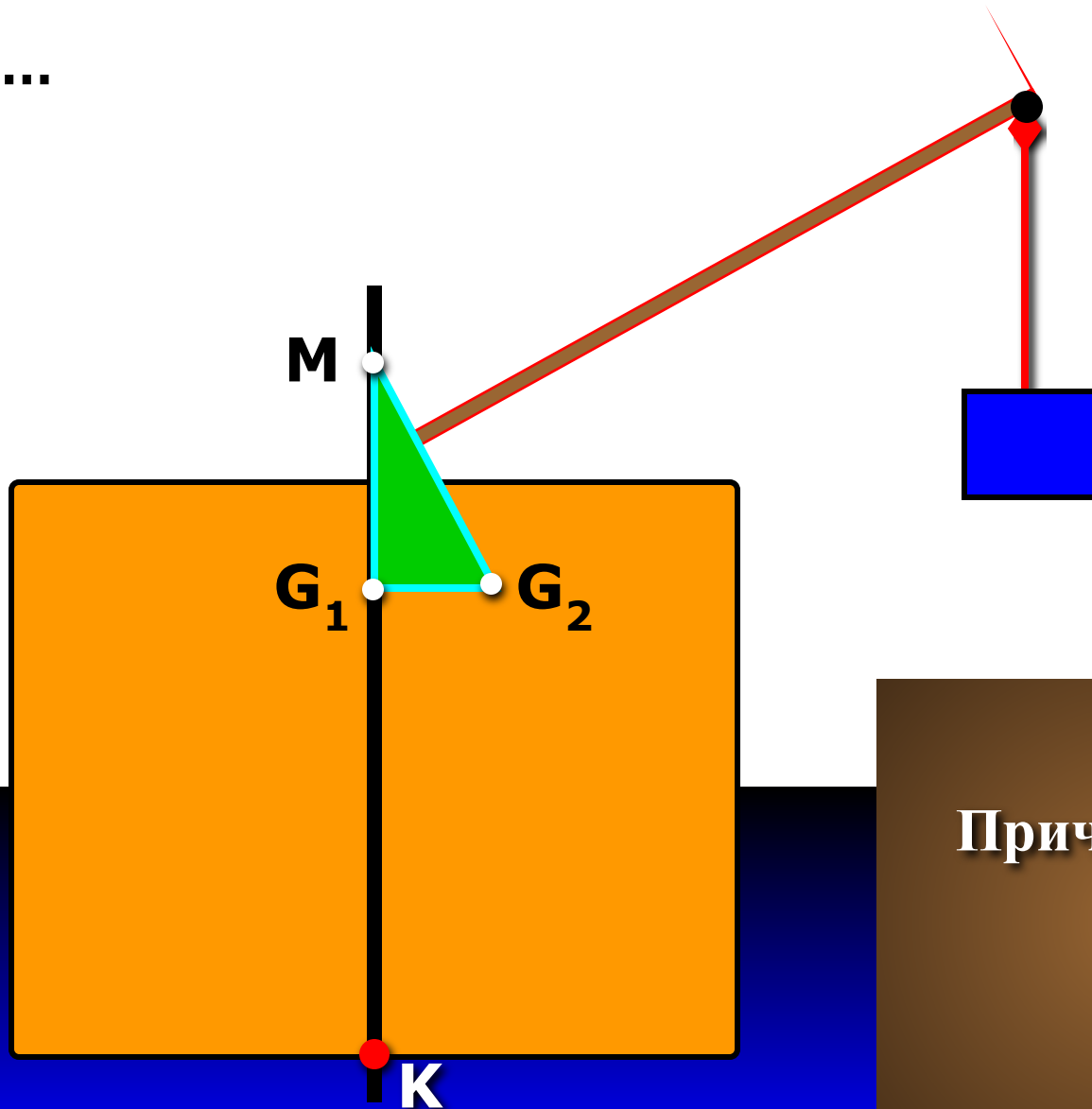


ЦТ перемещается в  $G_2$  ...



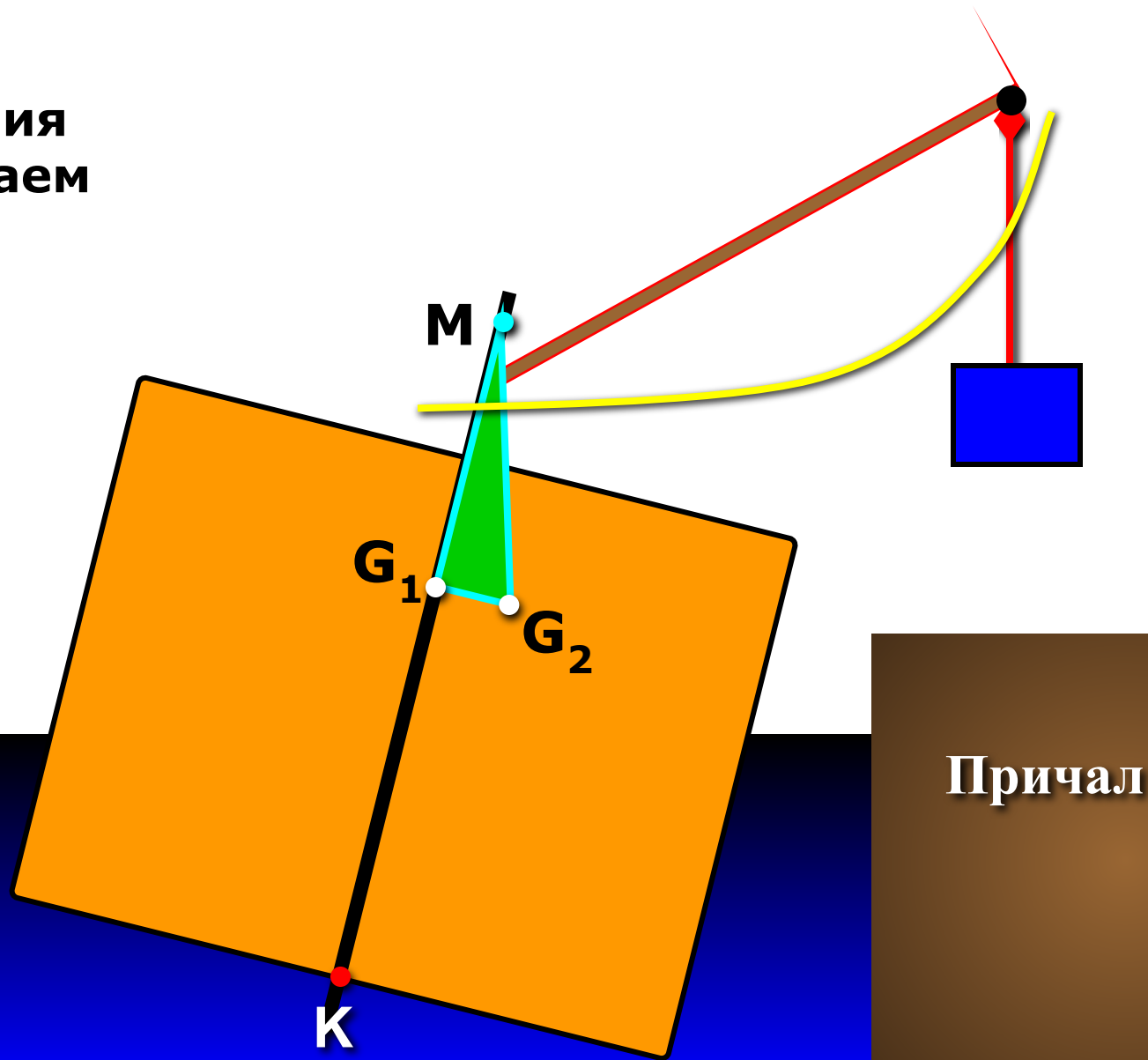
Причал

Поднимаем...



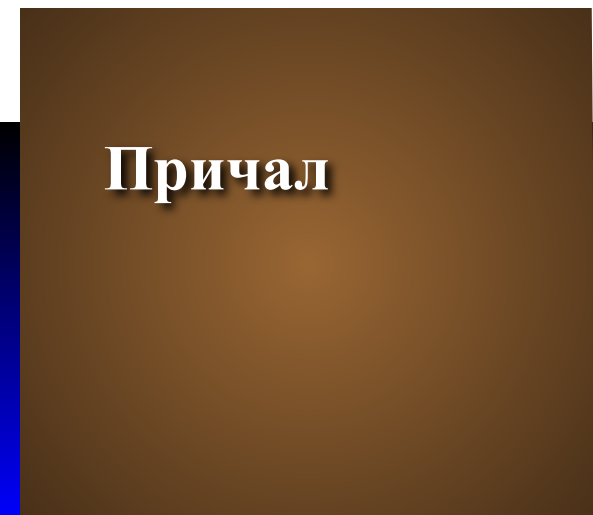
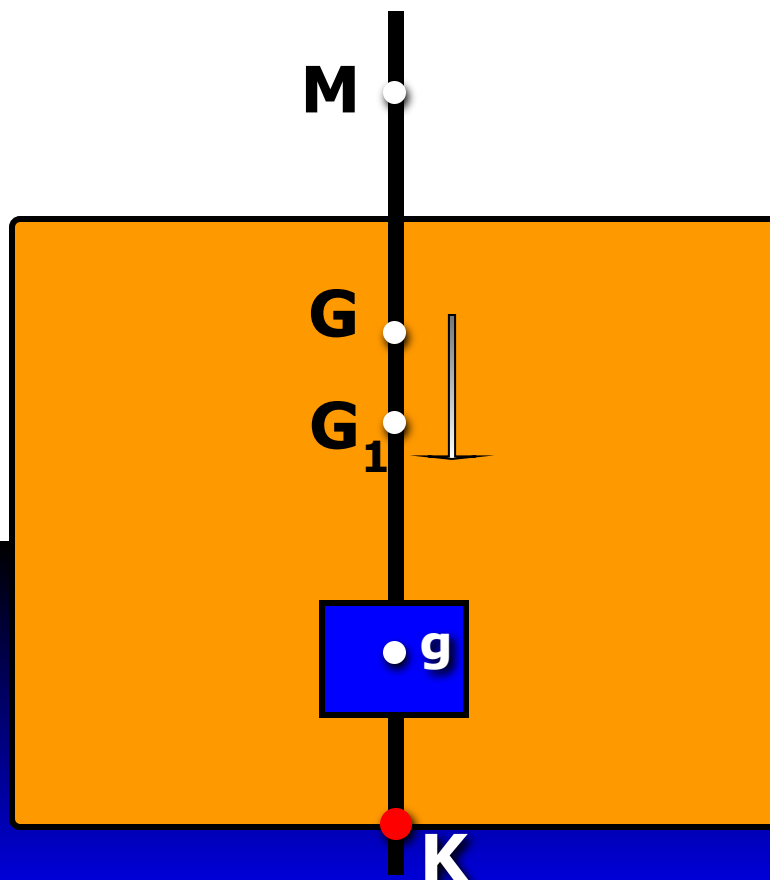


После  
накренения  
перемещаем  
груз...



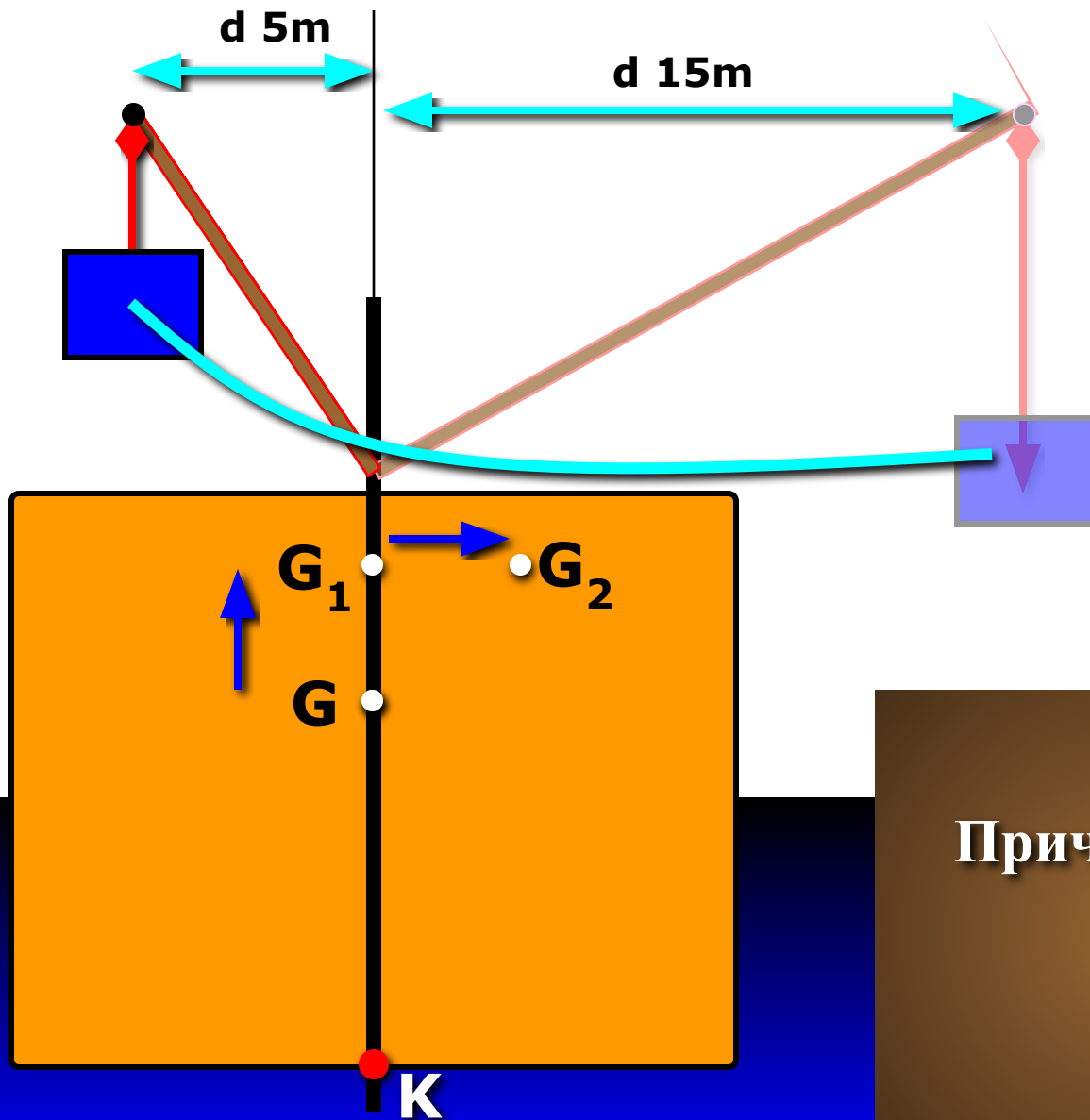
И желаем  
поместить в  
трюм...

**НО!!!**



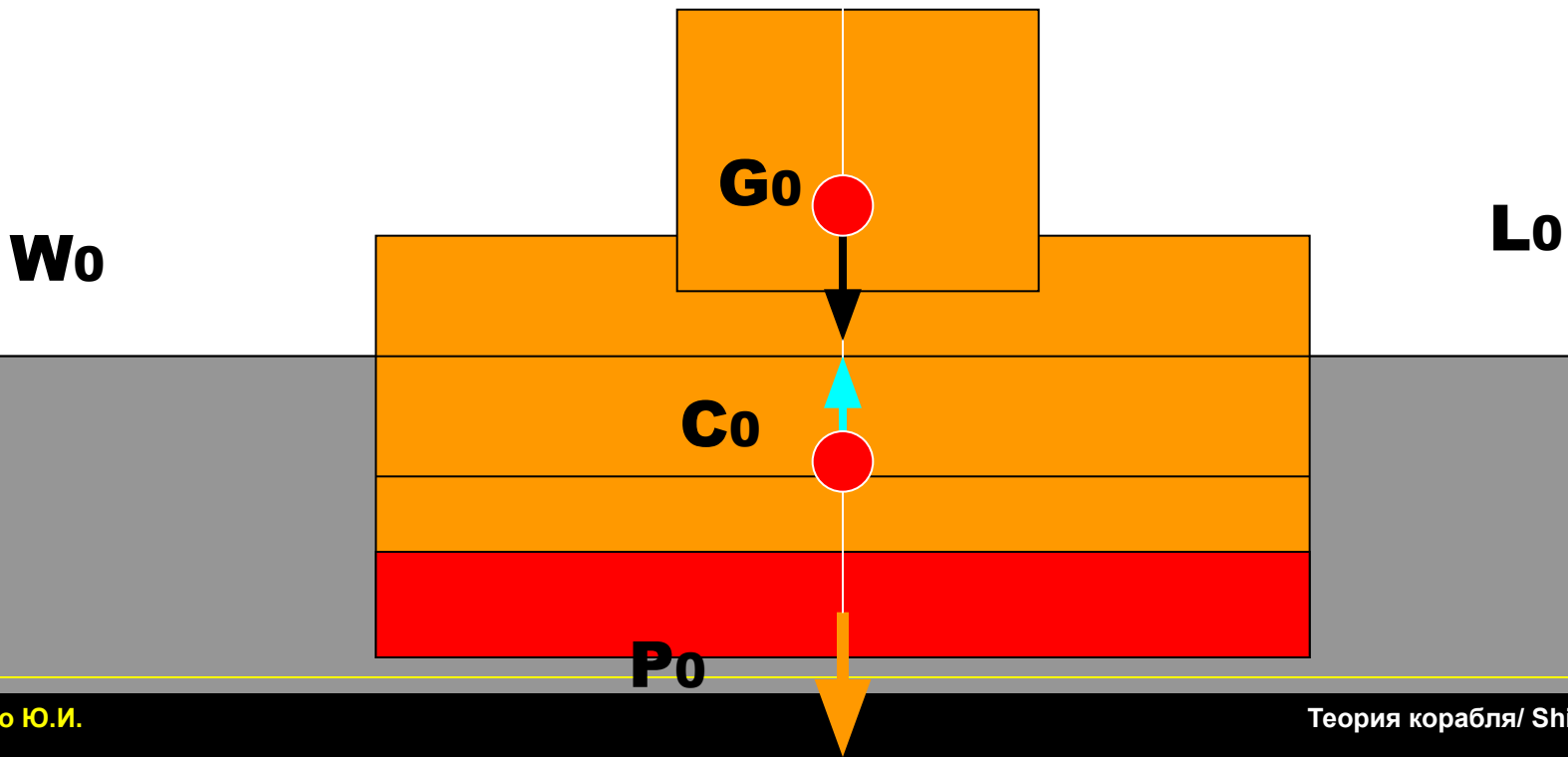
- Расчеты (сделанные **ПОСЛЕ** аварии), показали, что **ЦТ** судна поднимается **ВЫШЕ** **метацентра!**
- Причальная стенка помешала появлению начального крена и грузовая операция продолжилась.
- В процессе грузовой операции груз по инерции сместился на 5 метров от ДП на противоположный борт, создав **ОПРОКИДЫВАЮЩИЙ** **МОМЕНТ...**





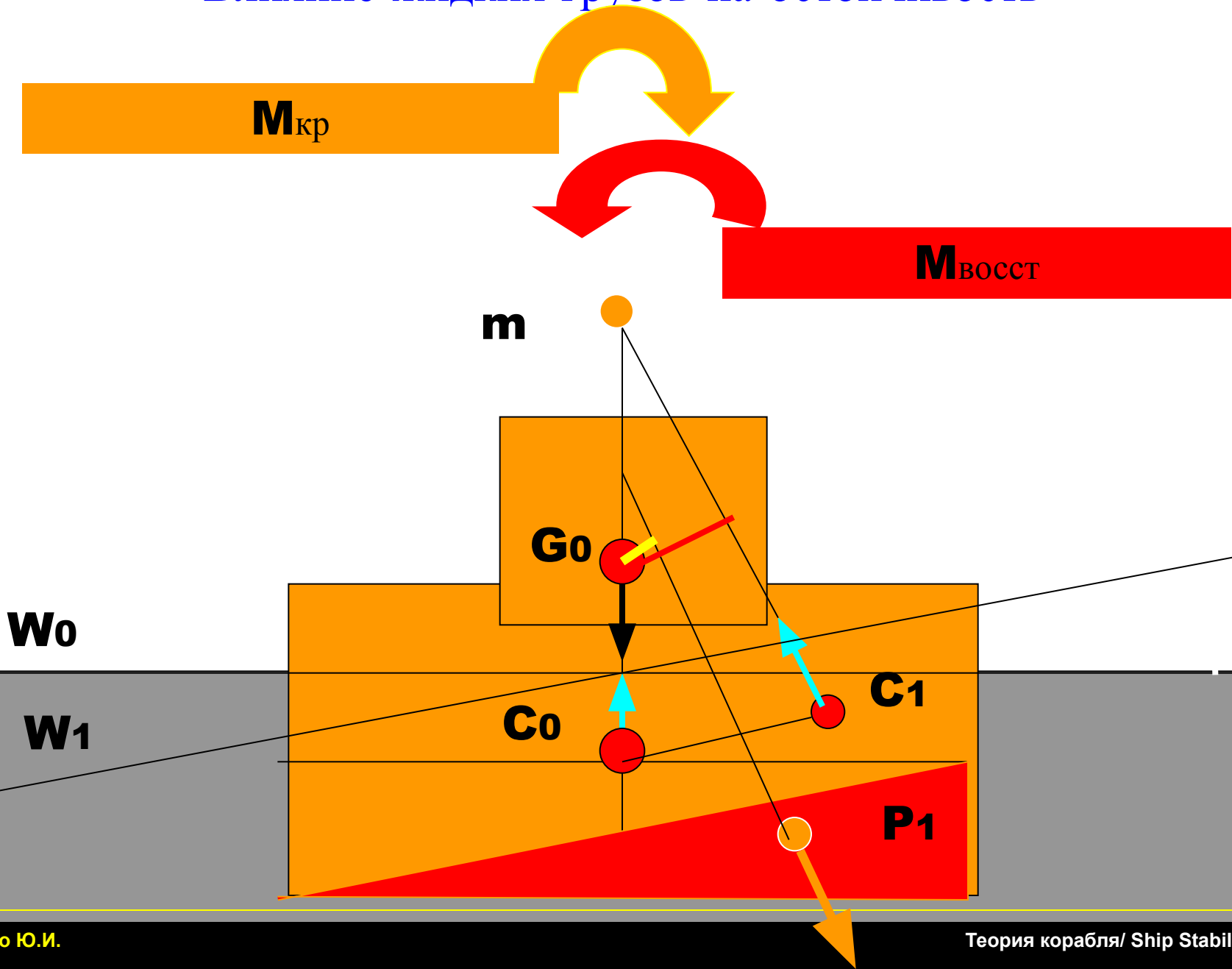
# Влияние жидких грузов на остойчивость

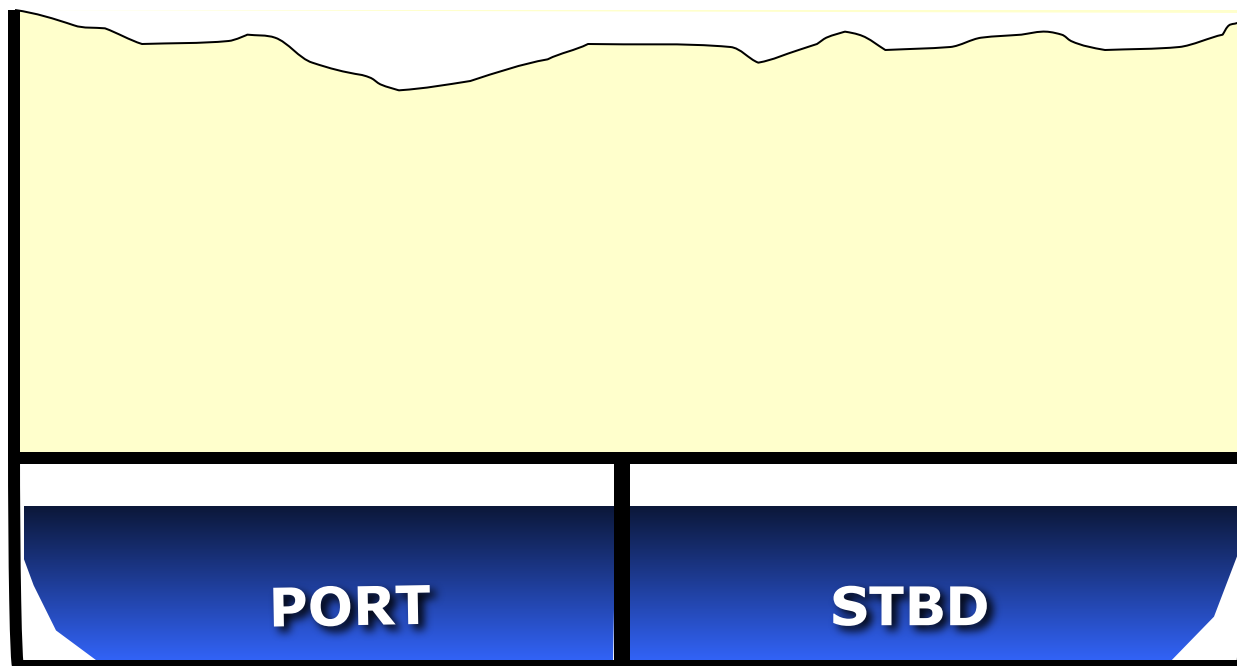
- Свободная поверхность жидкости

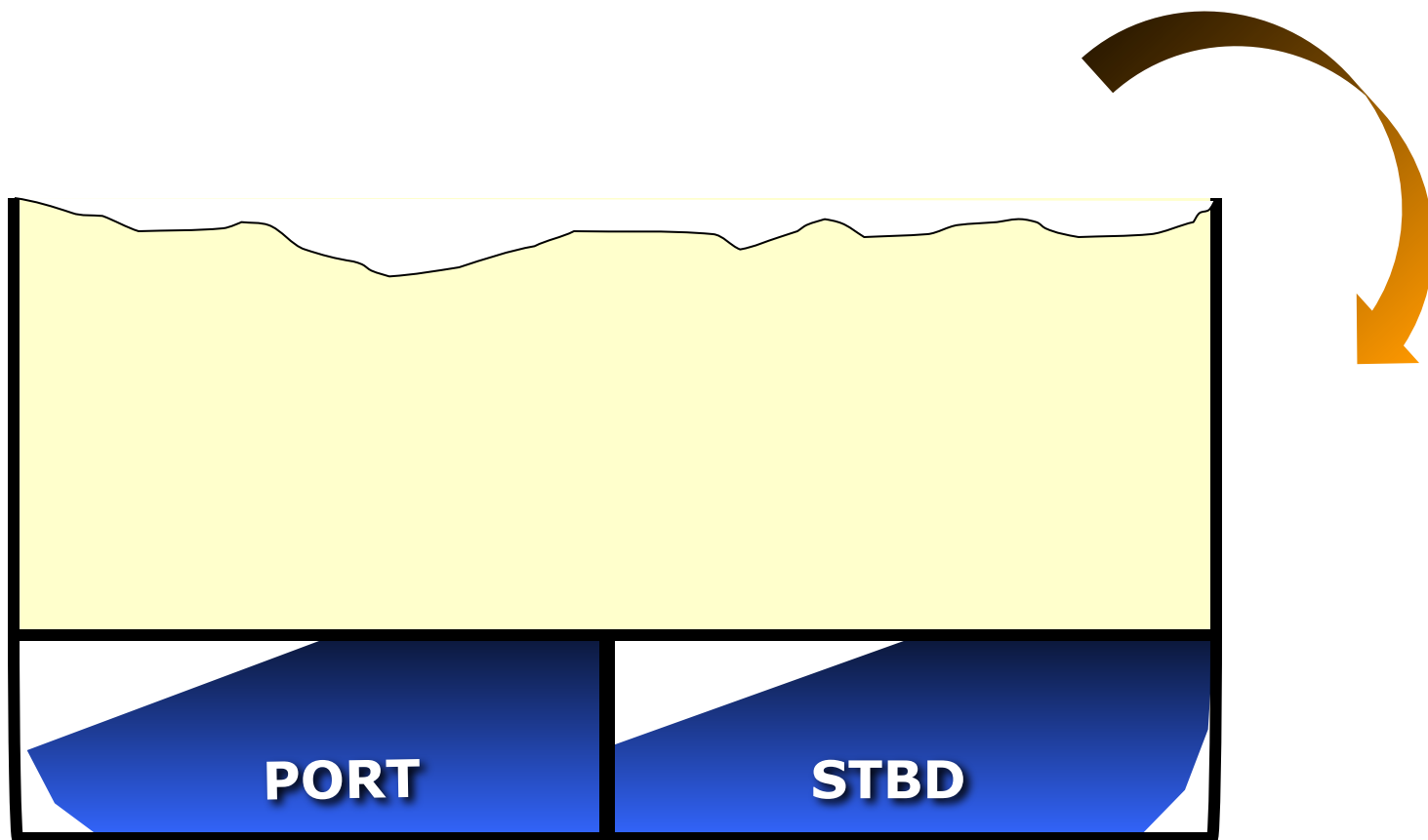


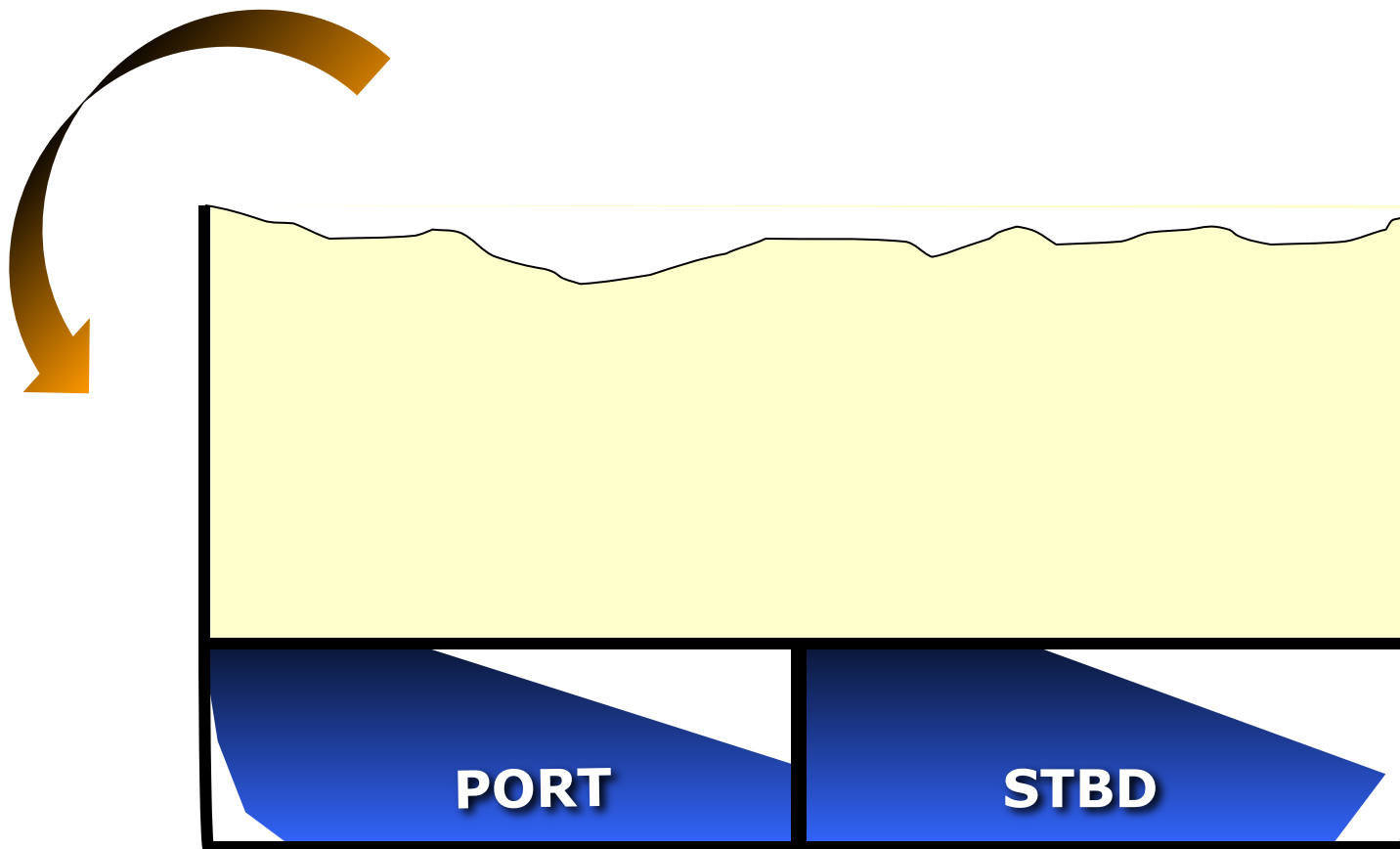


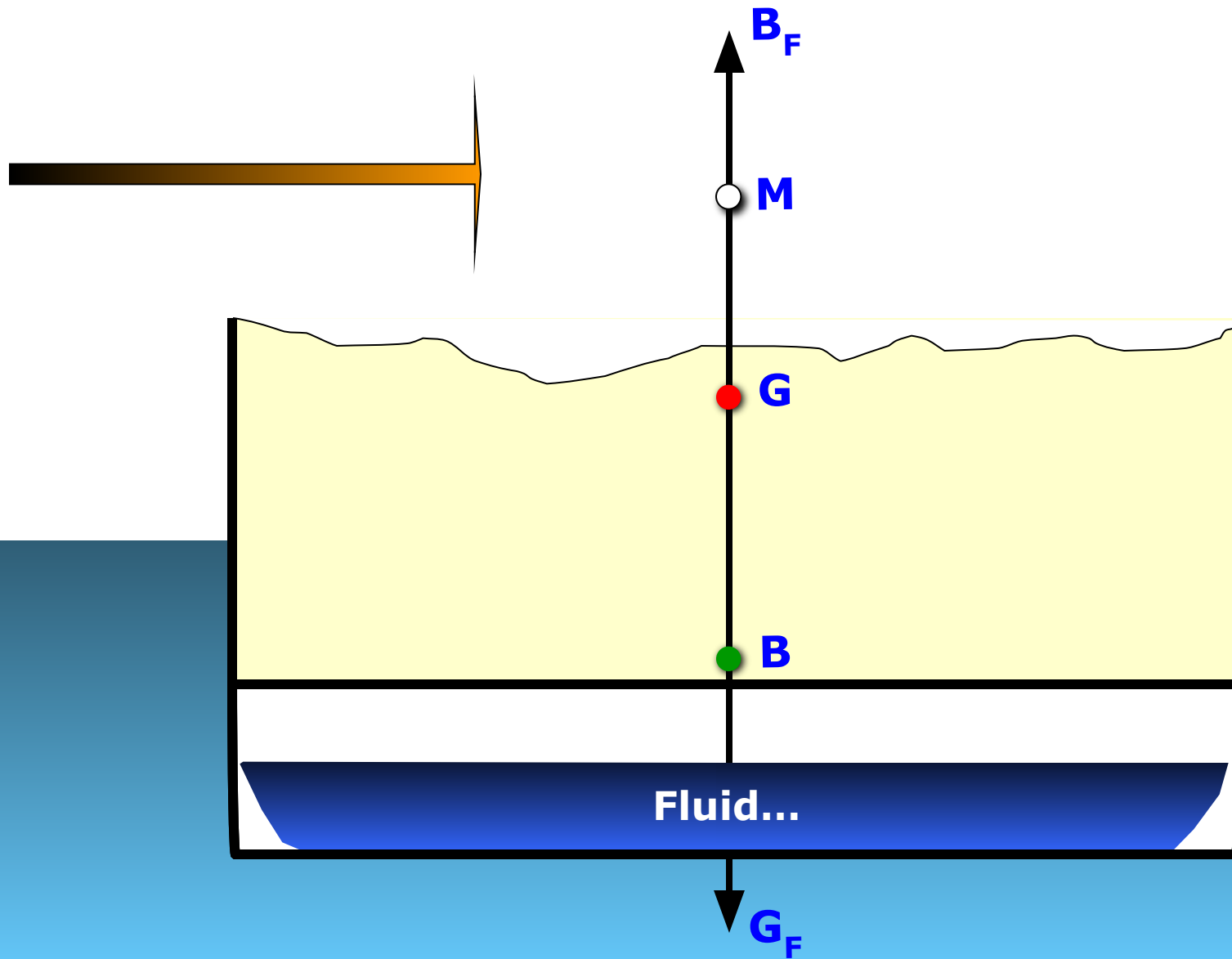
## Влияние жидких грузов на остойчивость



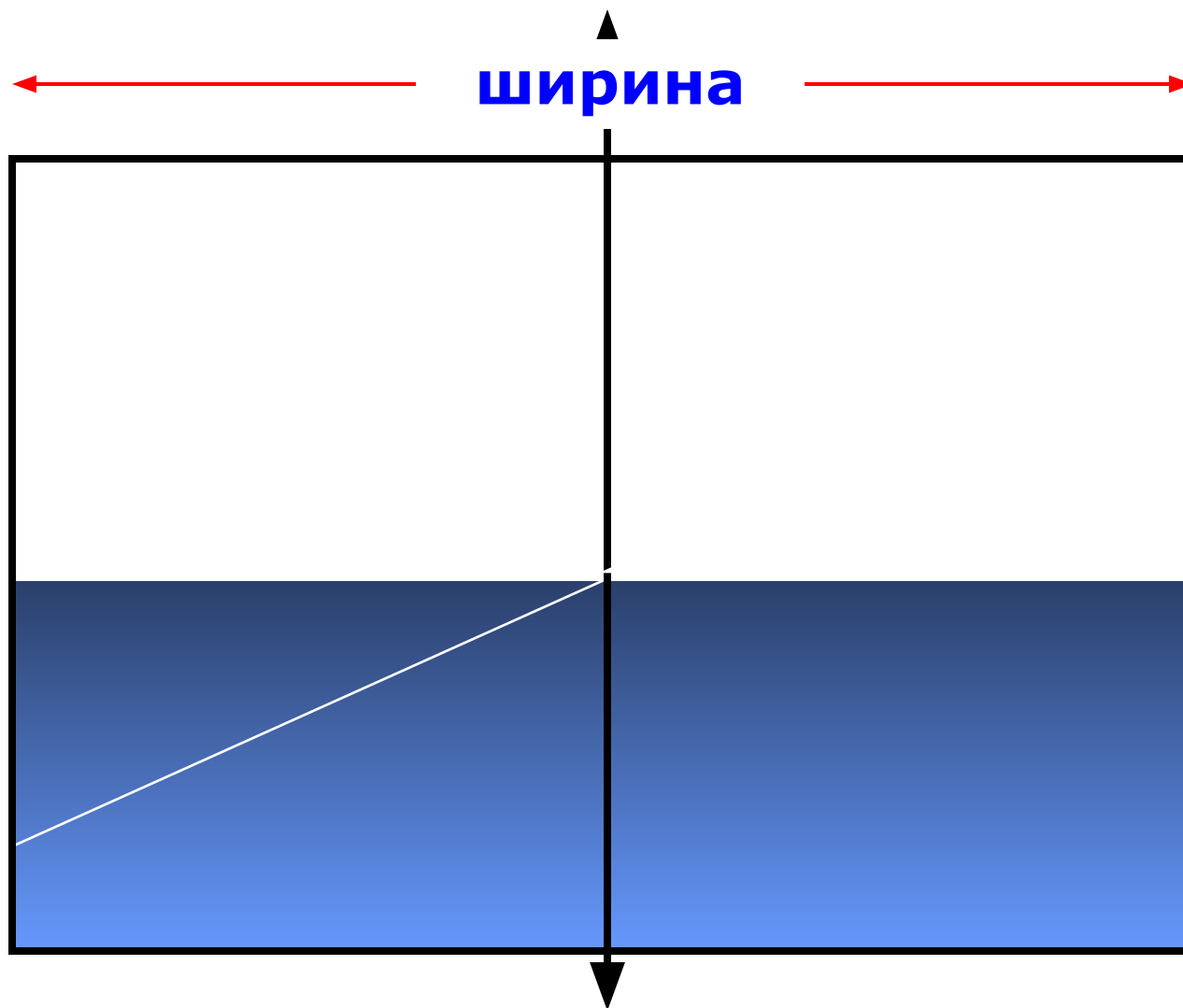


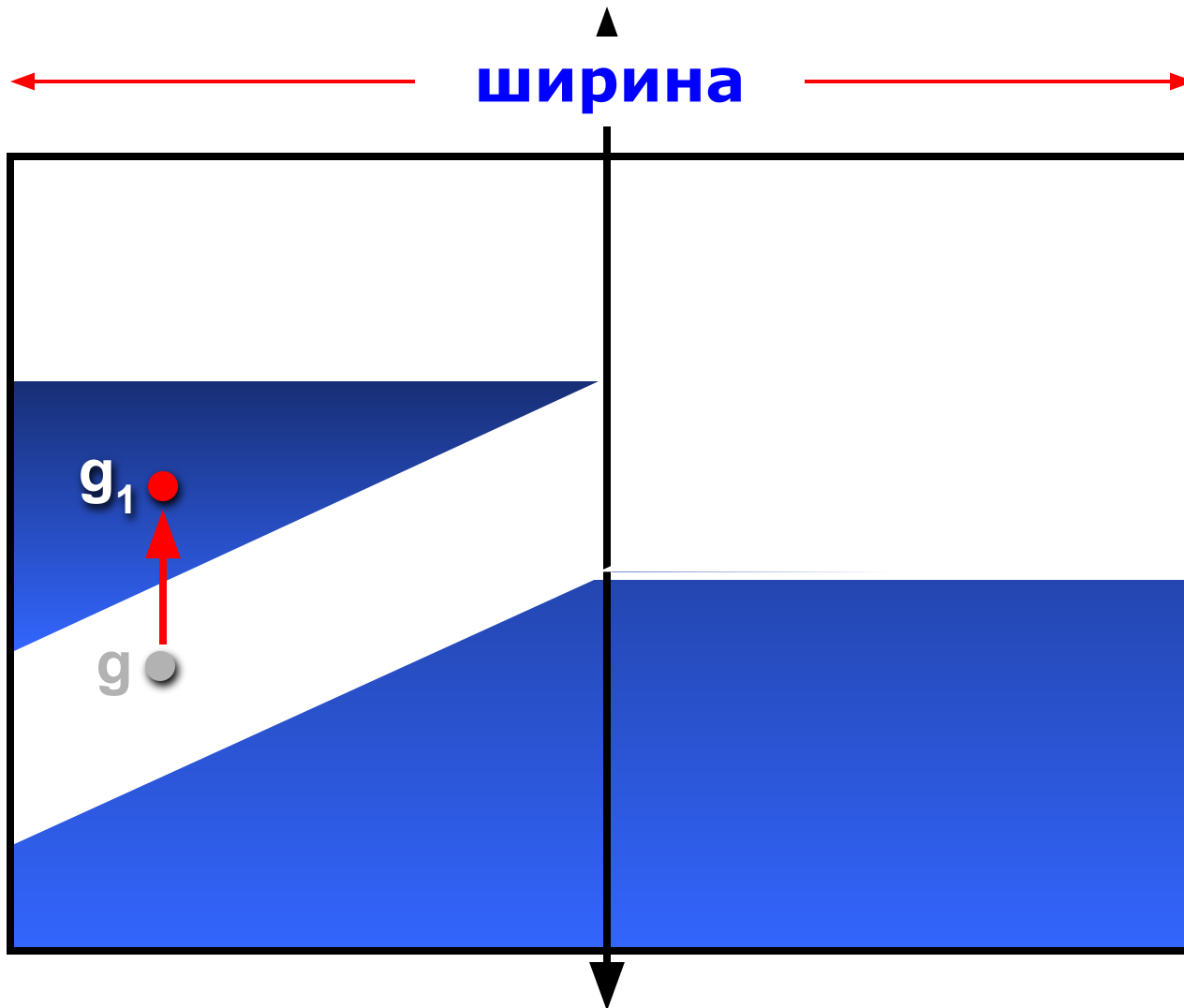


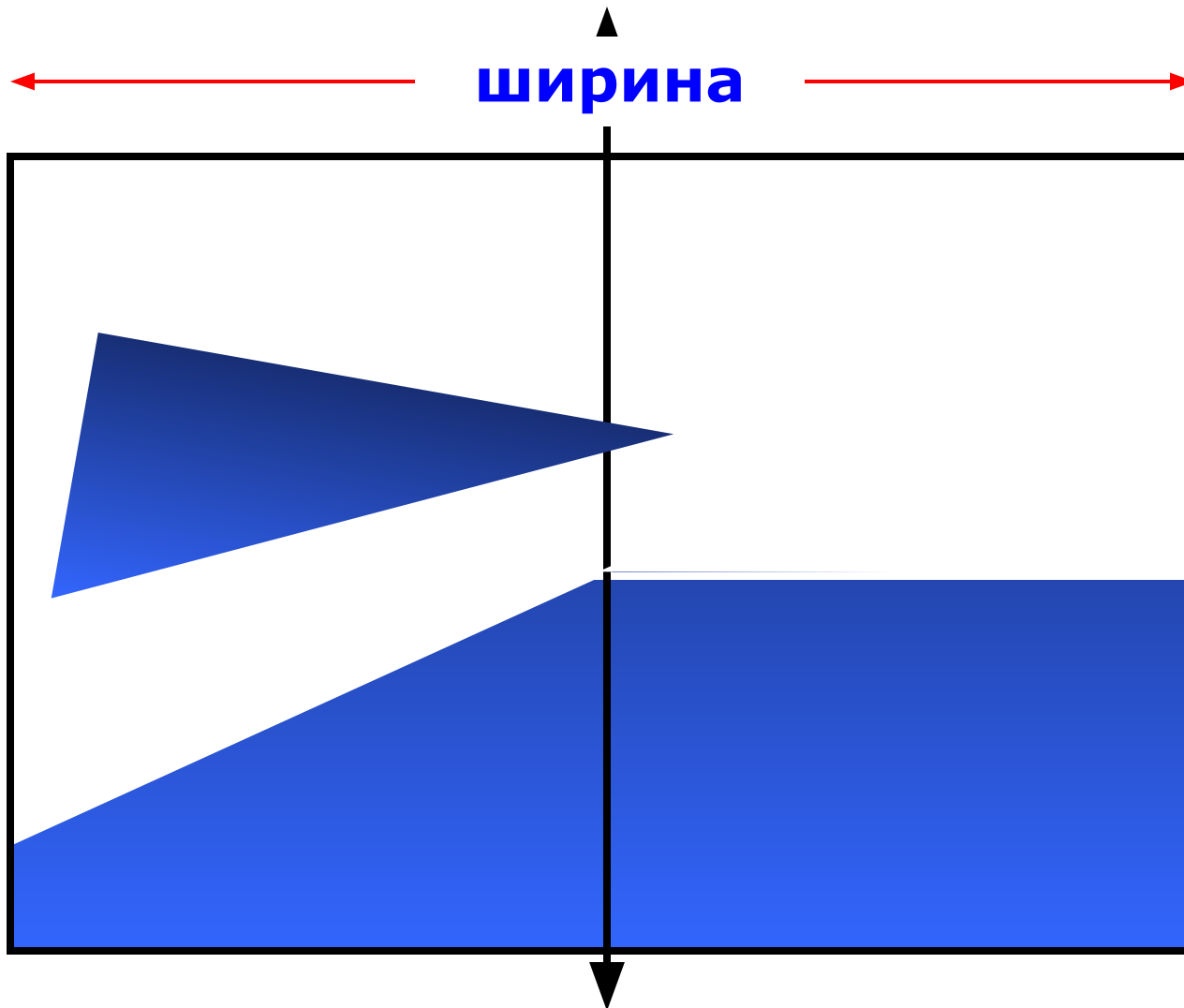


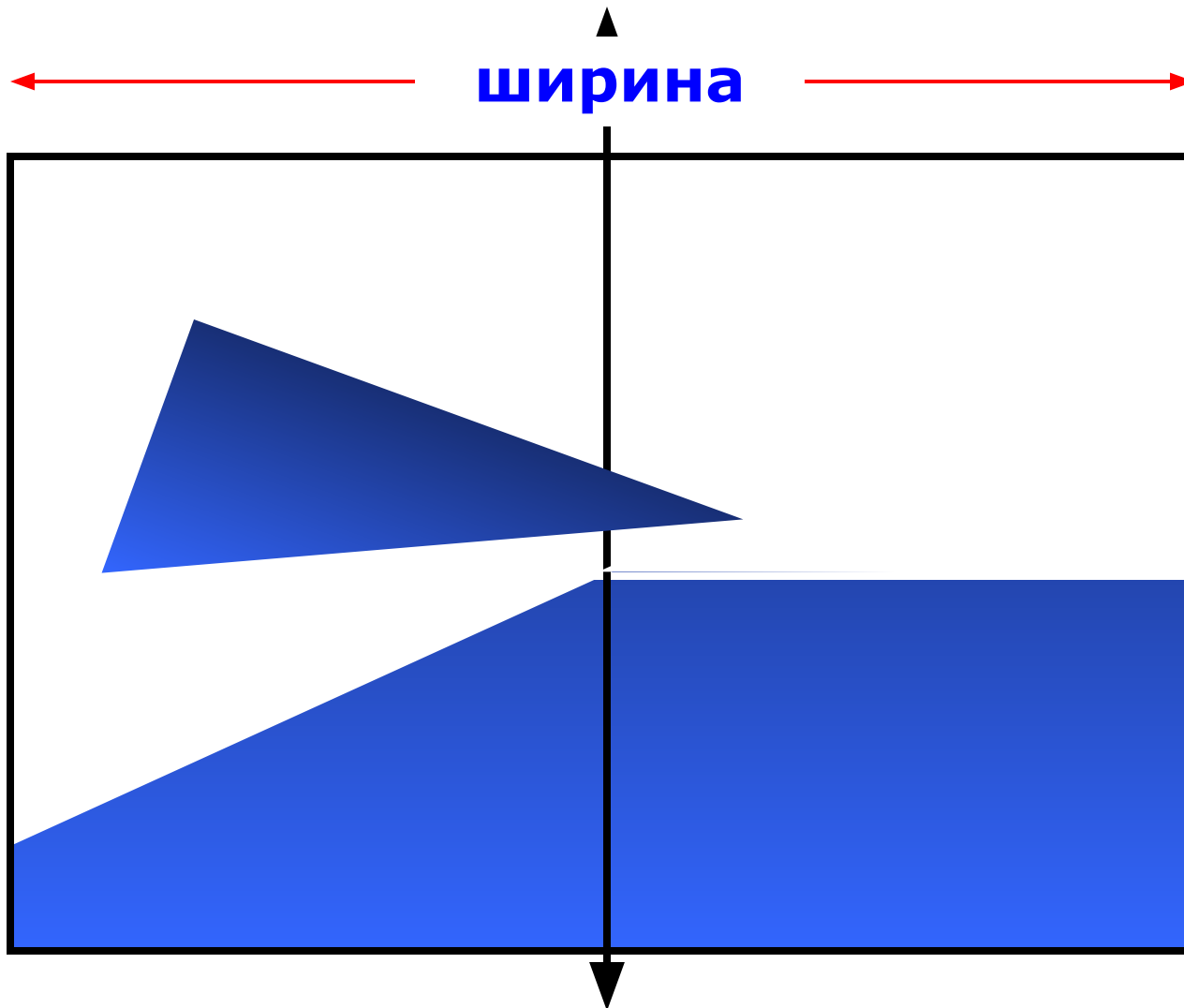


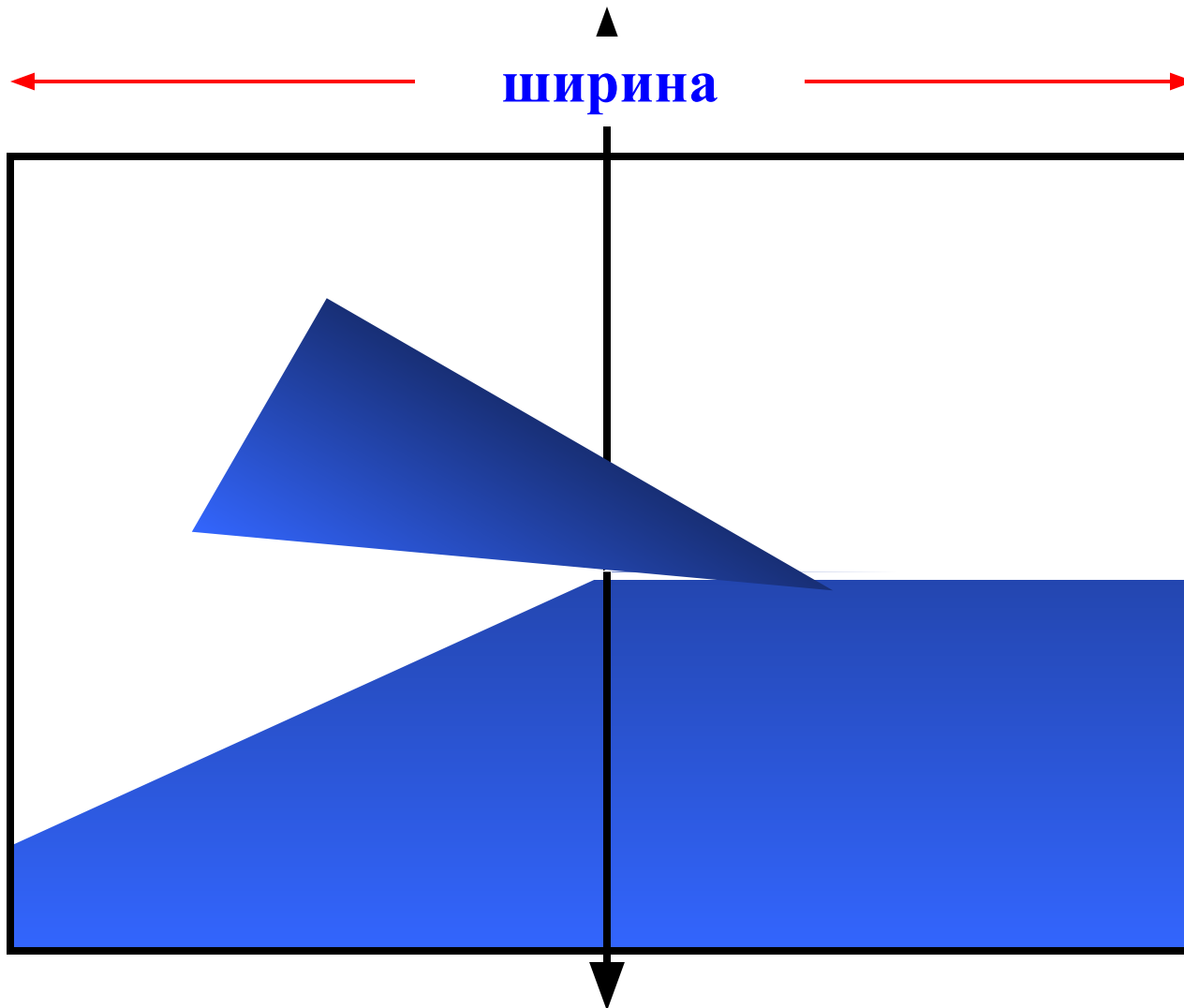




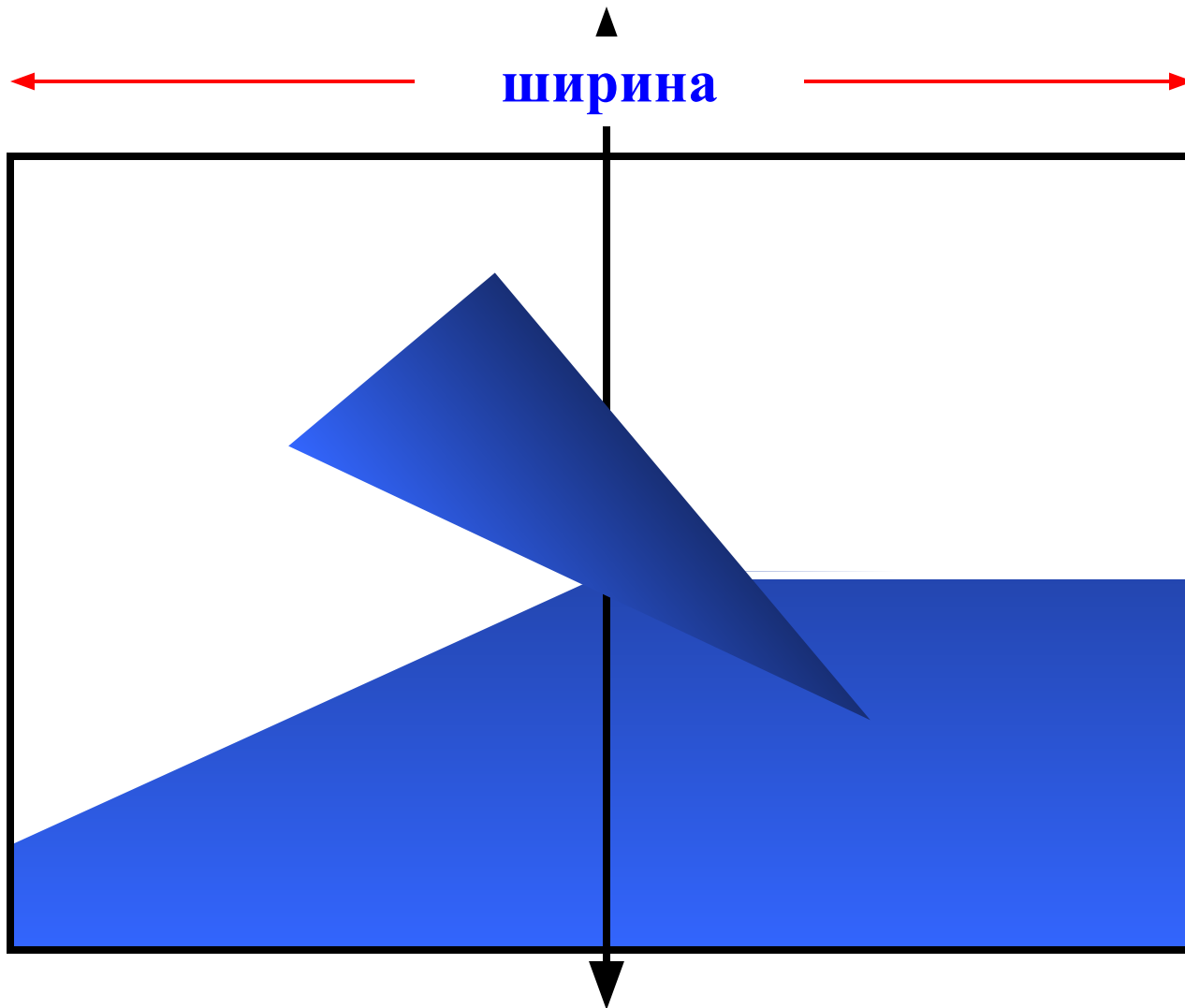


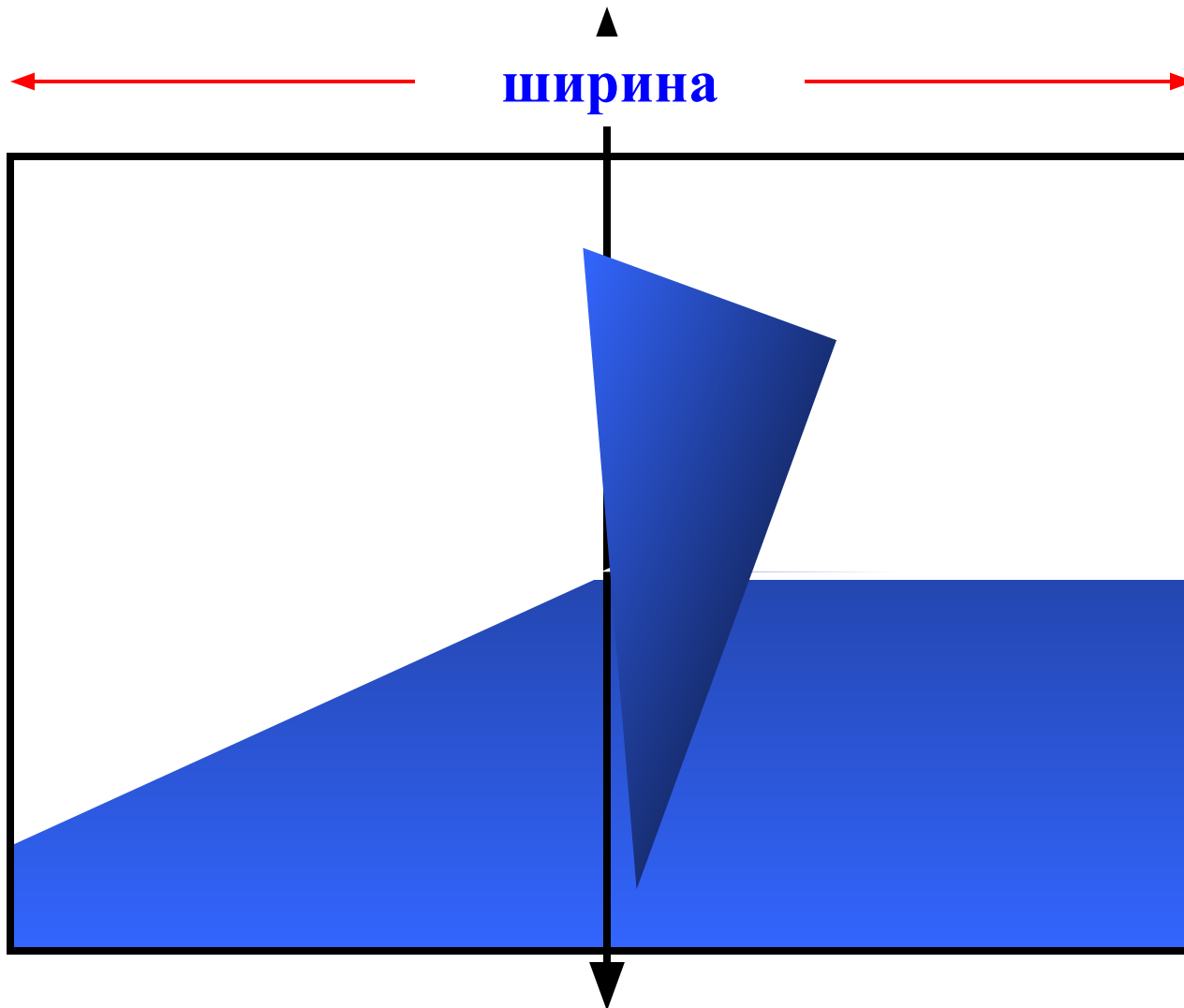


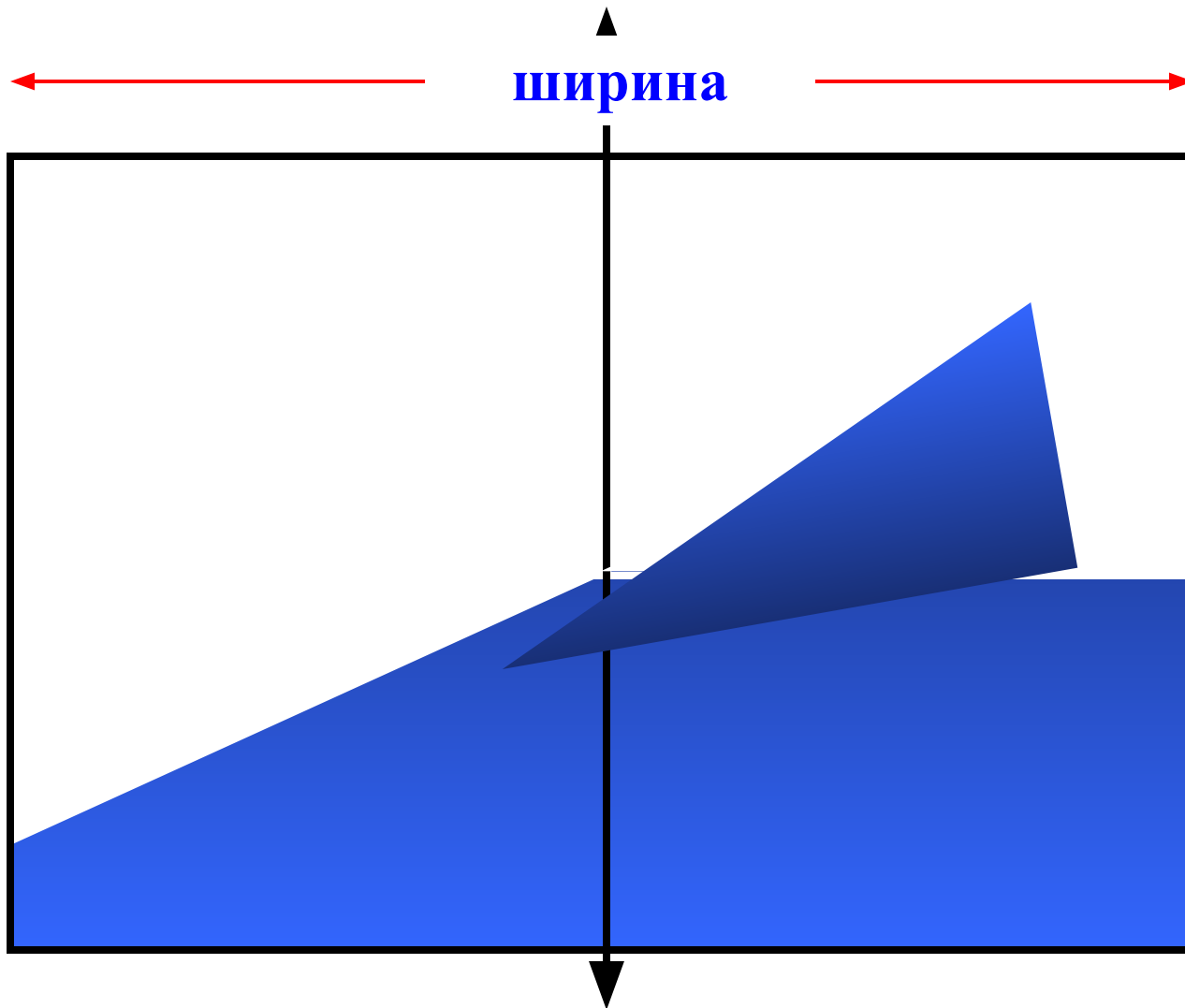


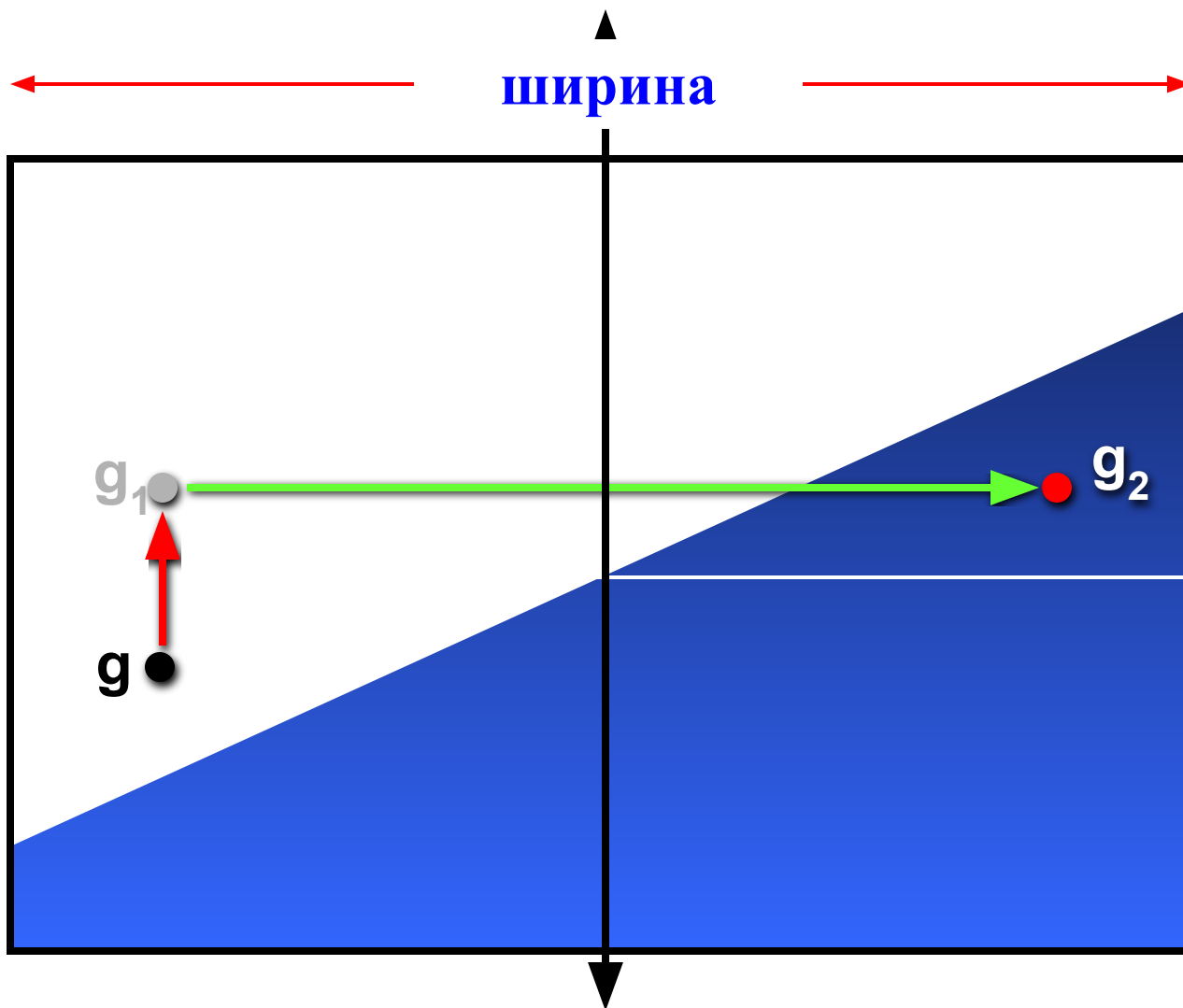












# Влияние жидких грузов на начальную остойчивость

- Изменение метацентрической высоты будет

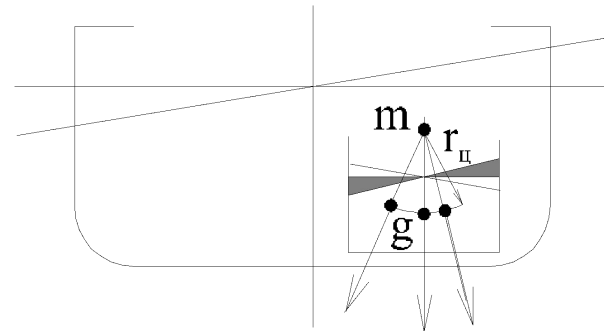
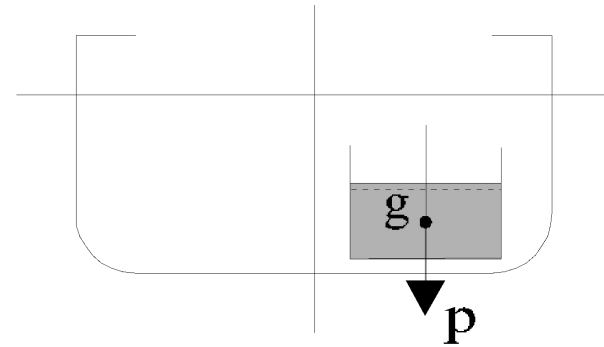
$$dh = - \frac{g_{ж} i_x}{D}$$

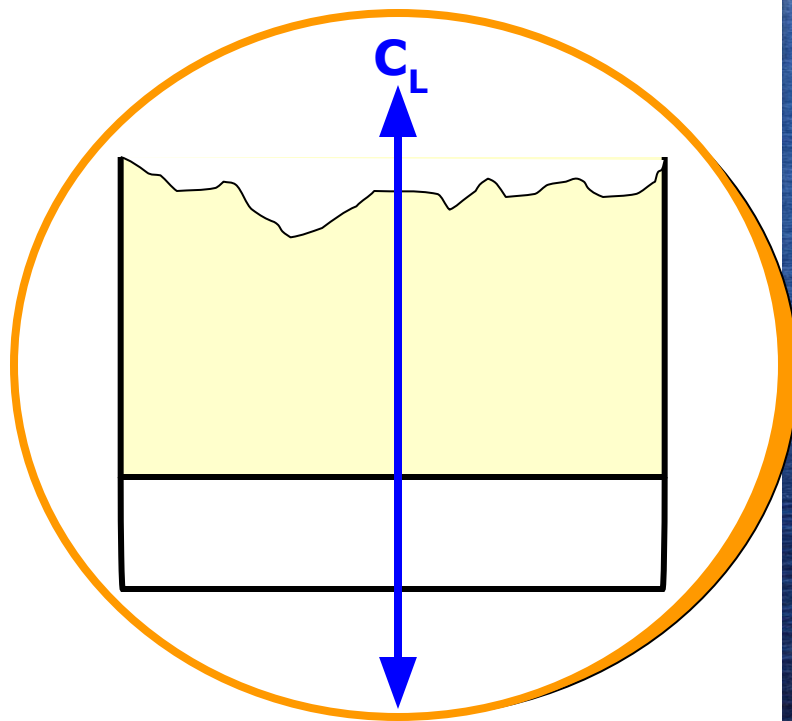
$i_x$  для прямоугольной в плане цистерны будет

$$i_x = \frac{l \times b^3}{12}$$

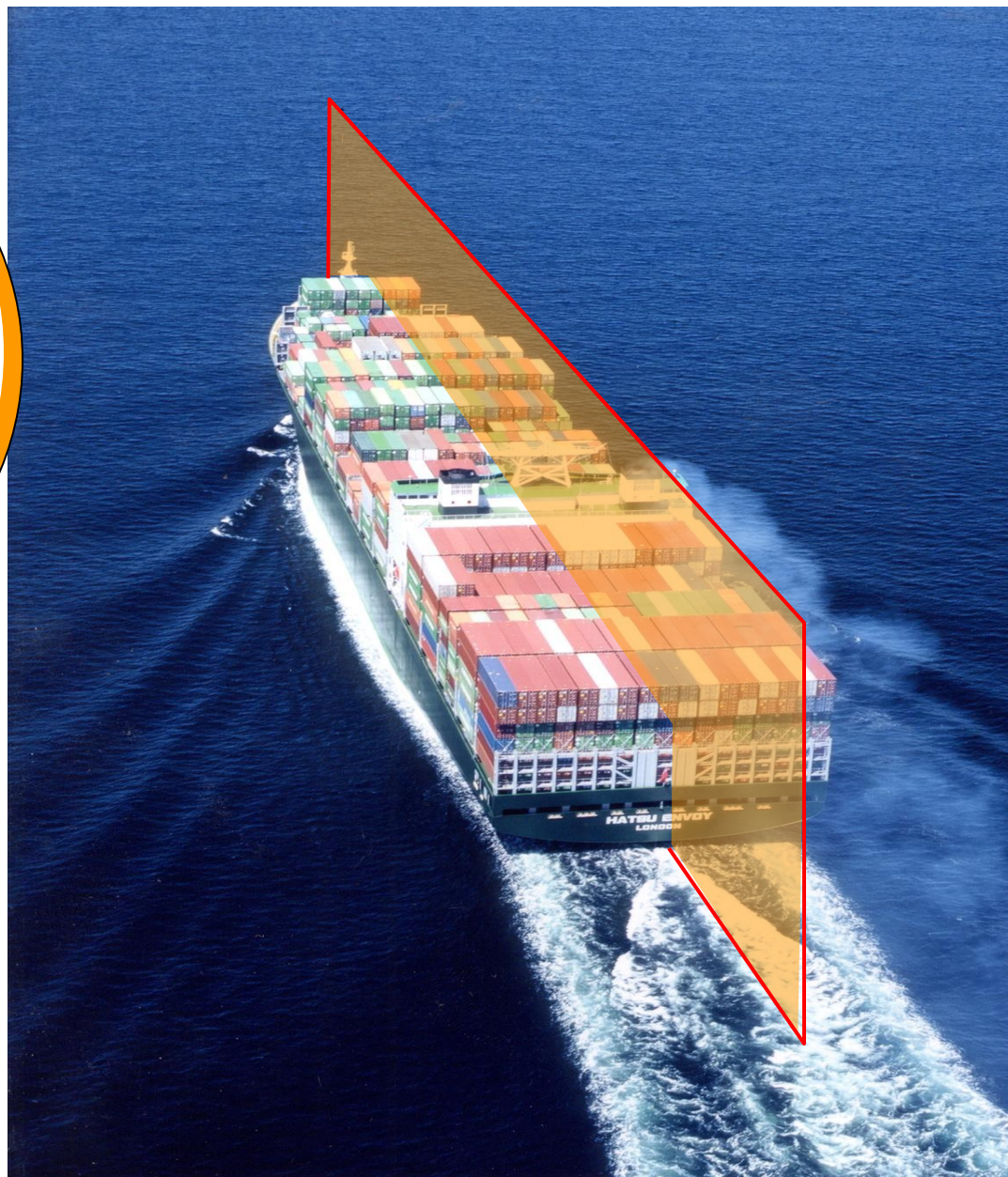
Если одну цистерну разделить продольными переборками на  $n$  цистерн, то

$$S i_x = \frac{1}{2^n} \frac{l \times b^3}{12}$$

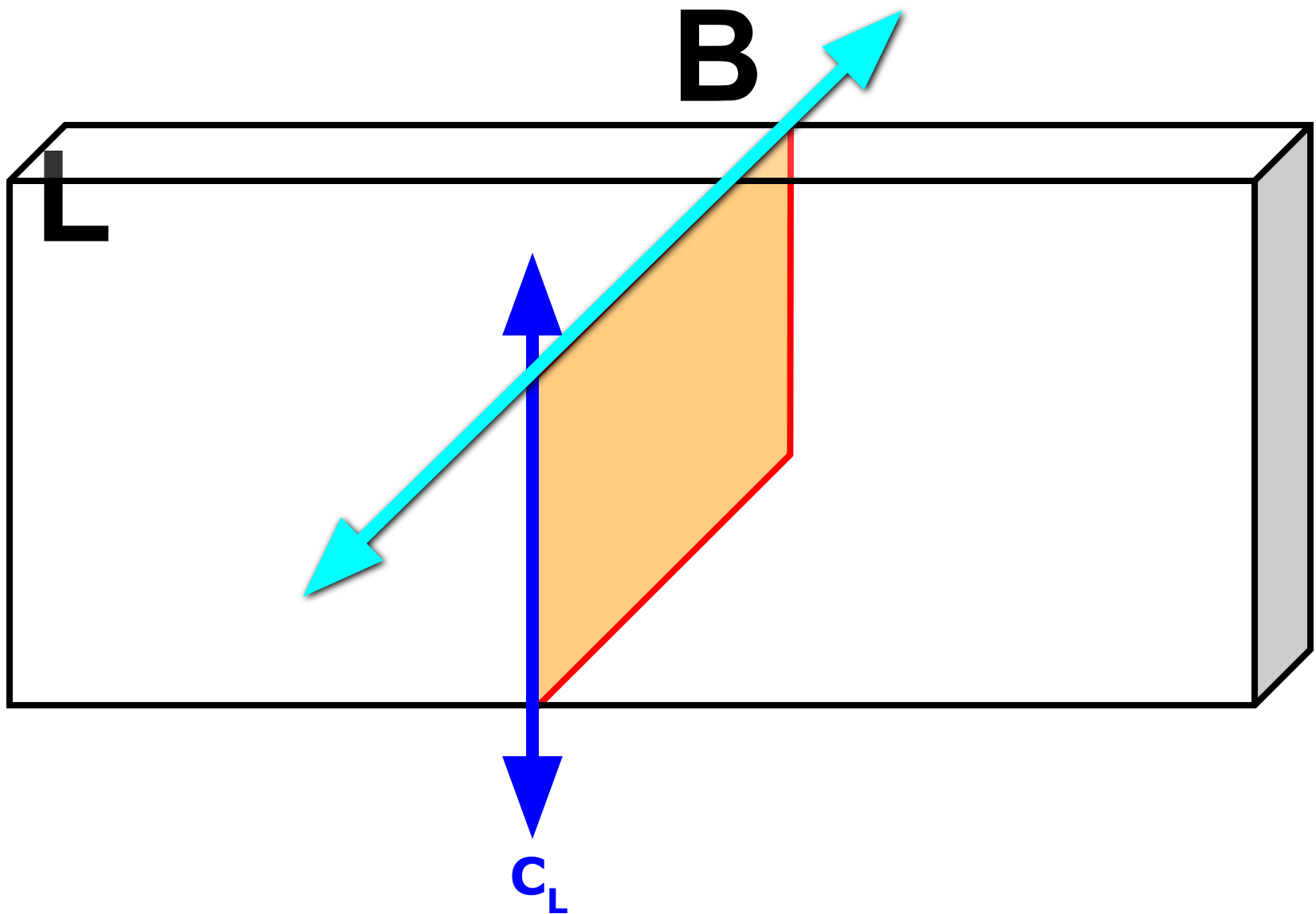


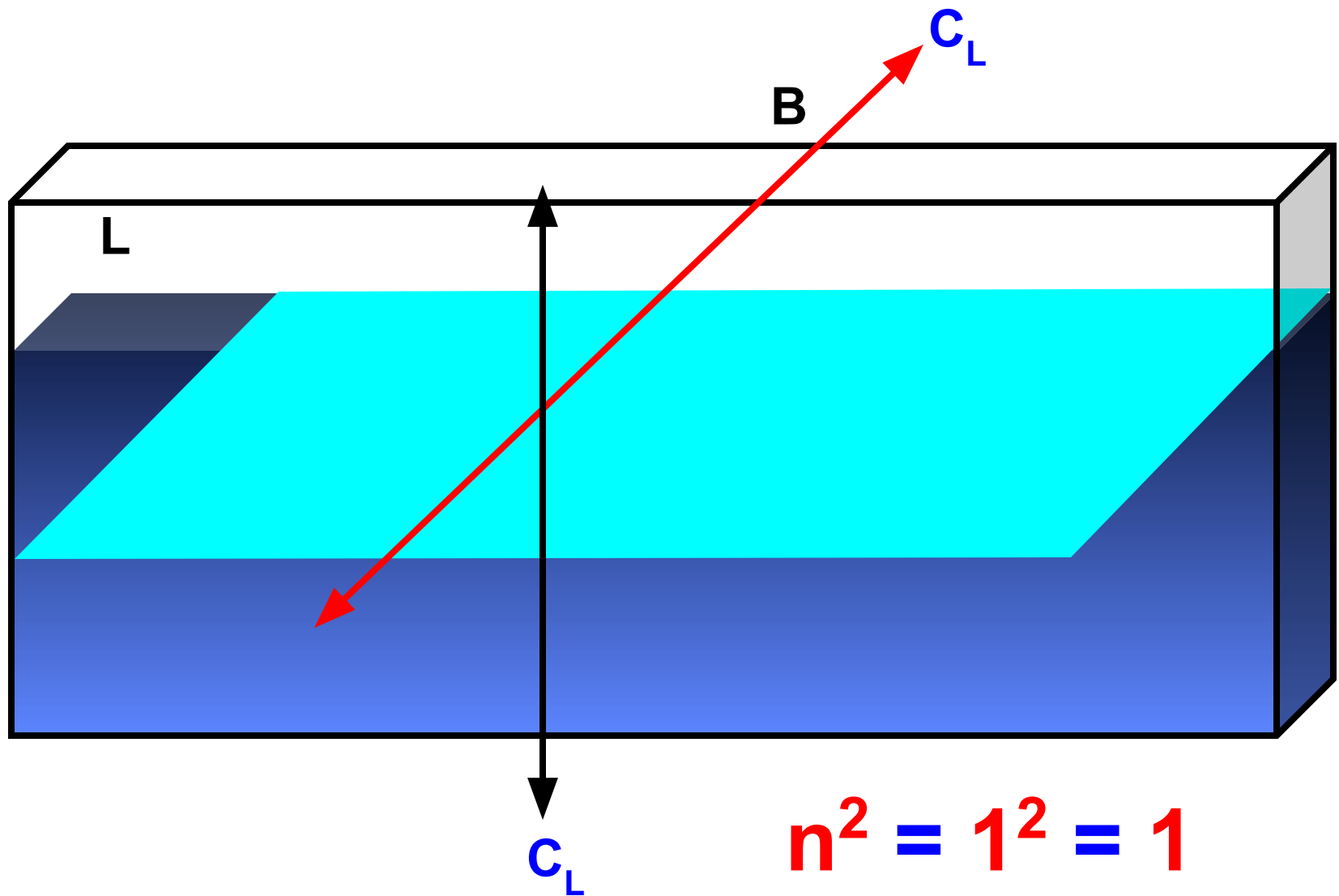


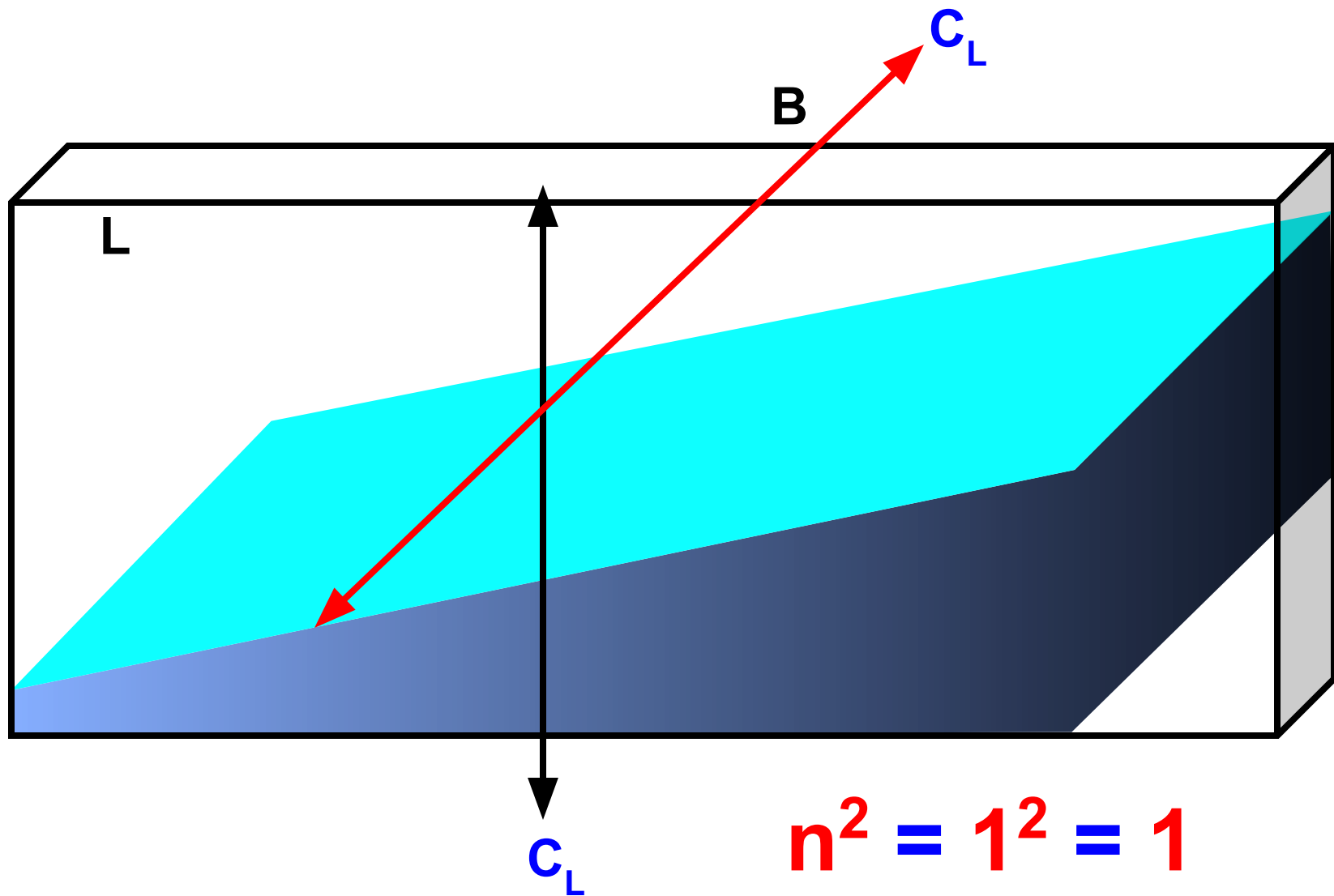
**Разделение  
цистерн  
продольными  
перегородками**

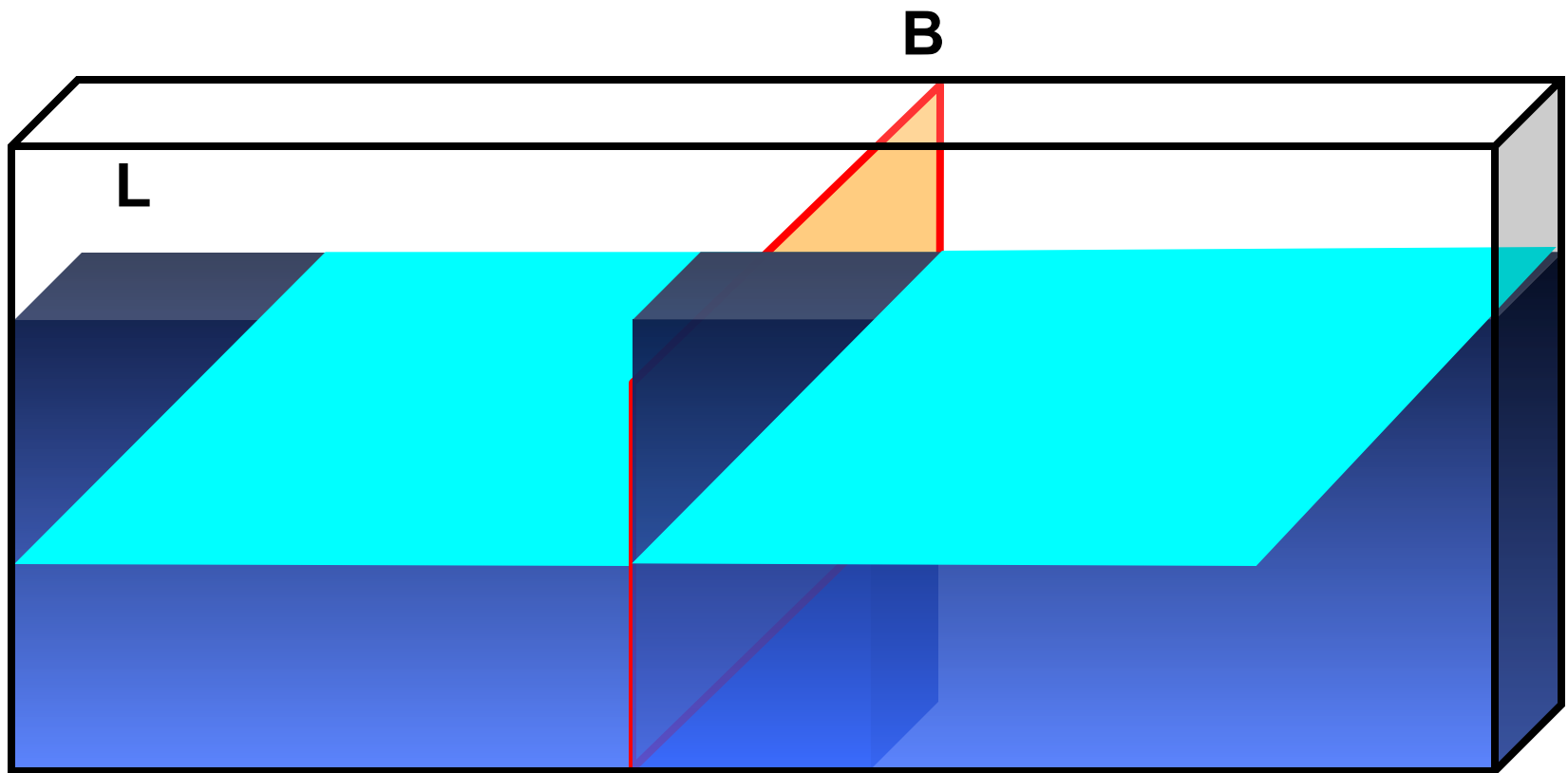




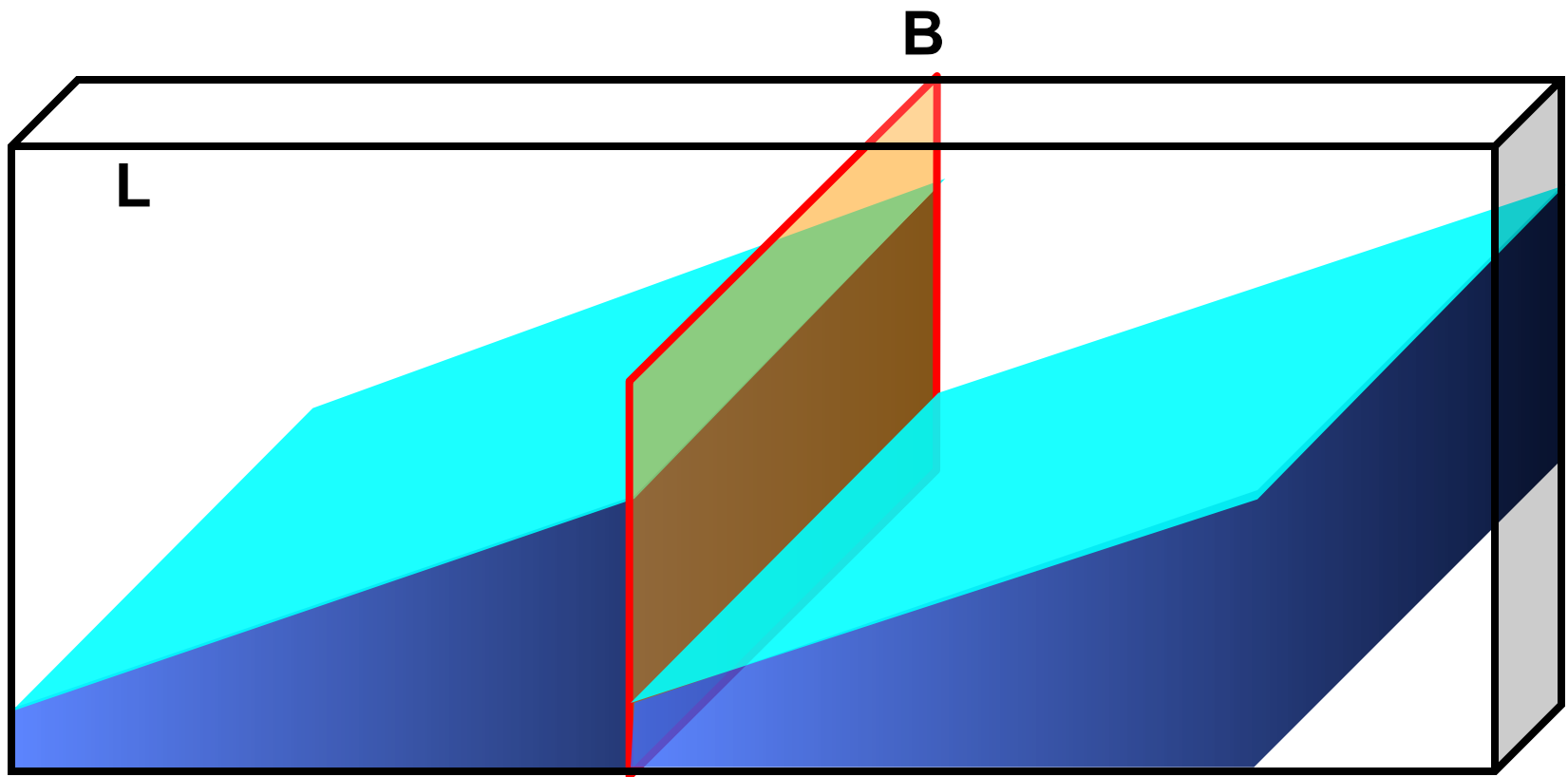




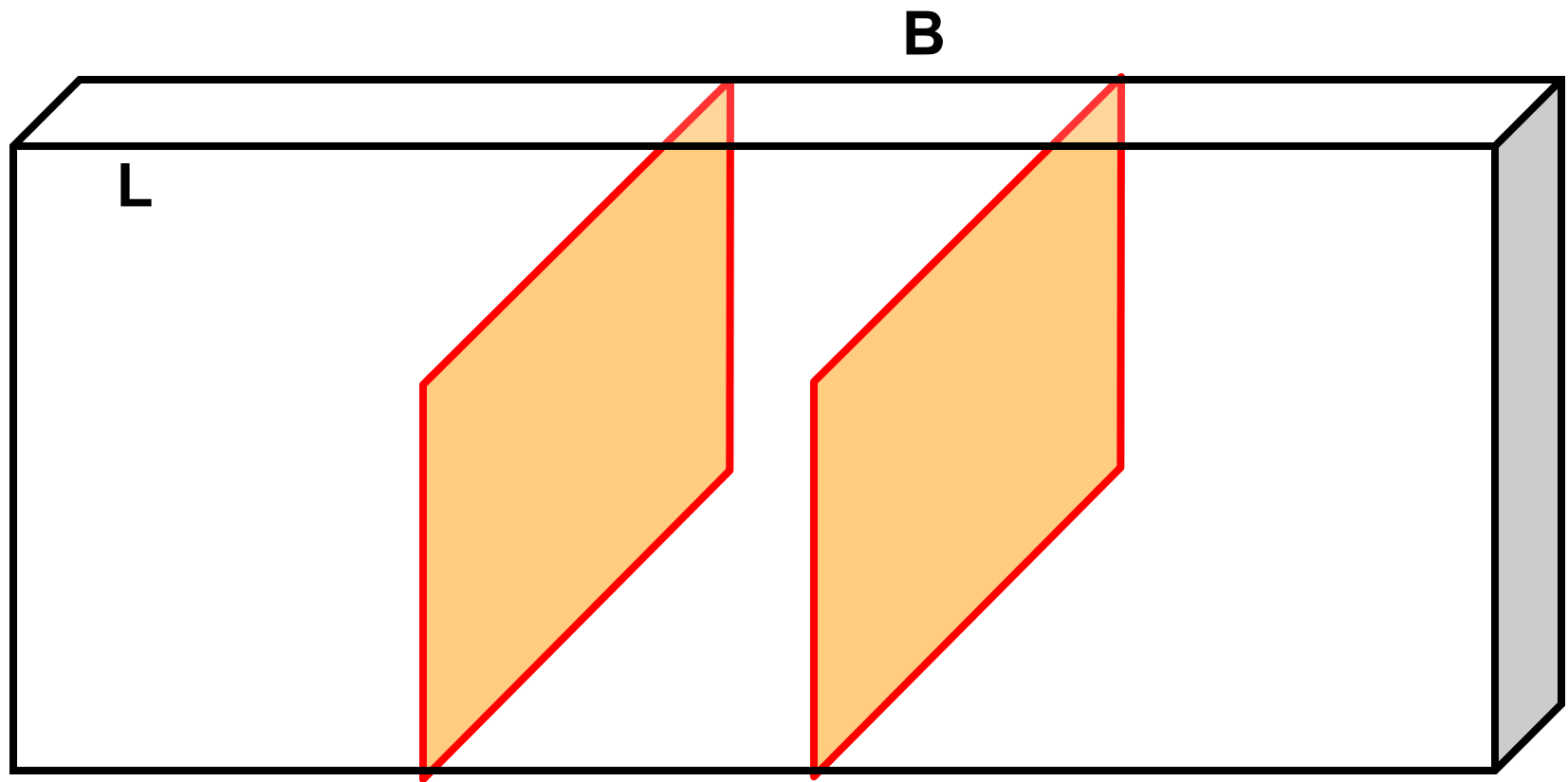




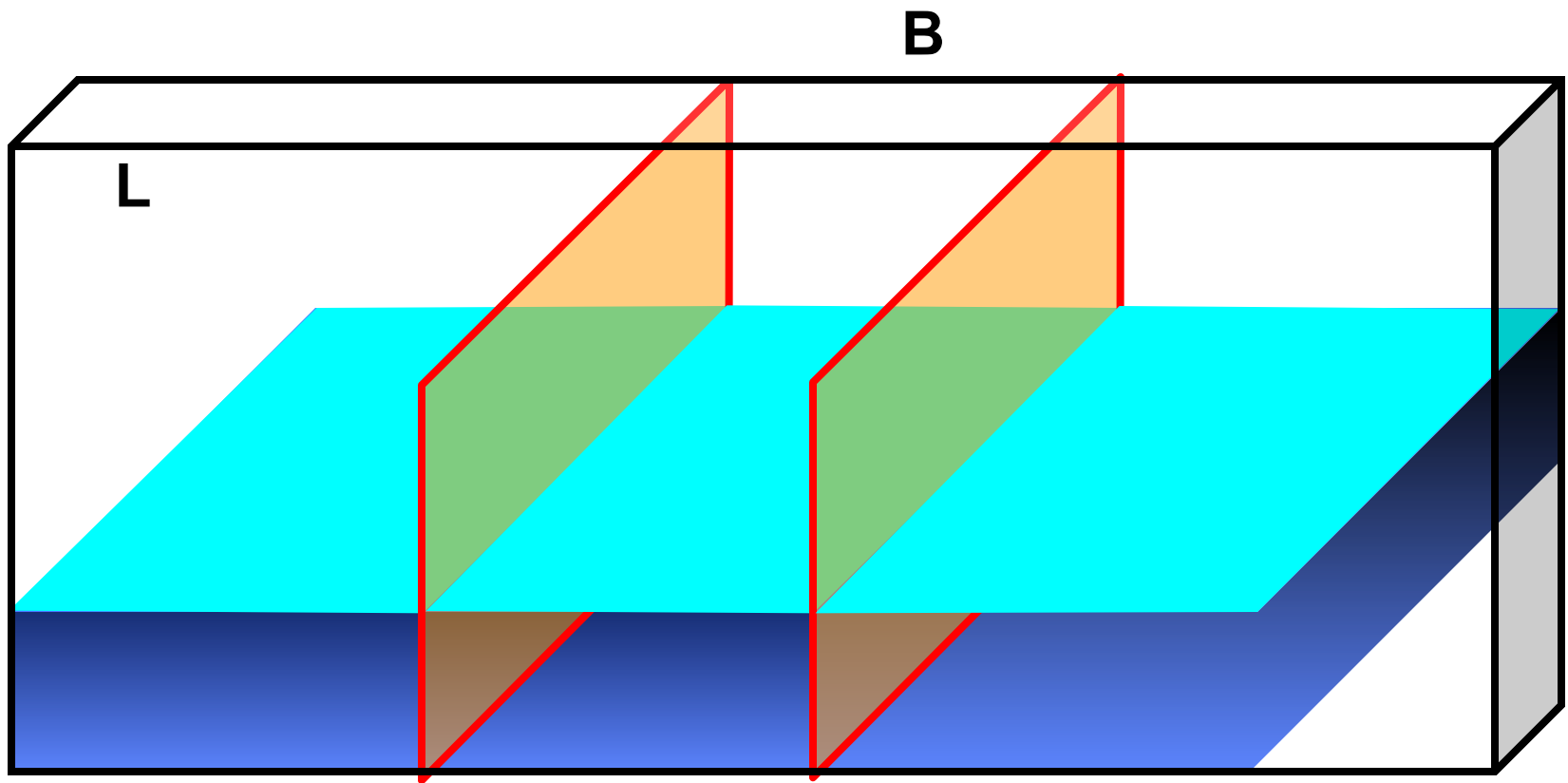
$$n^2 = 2^2 = 4$$



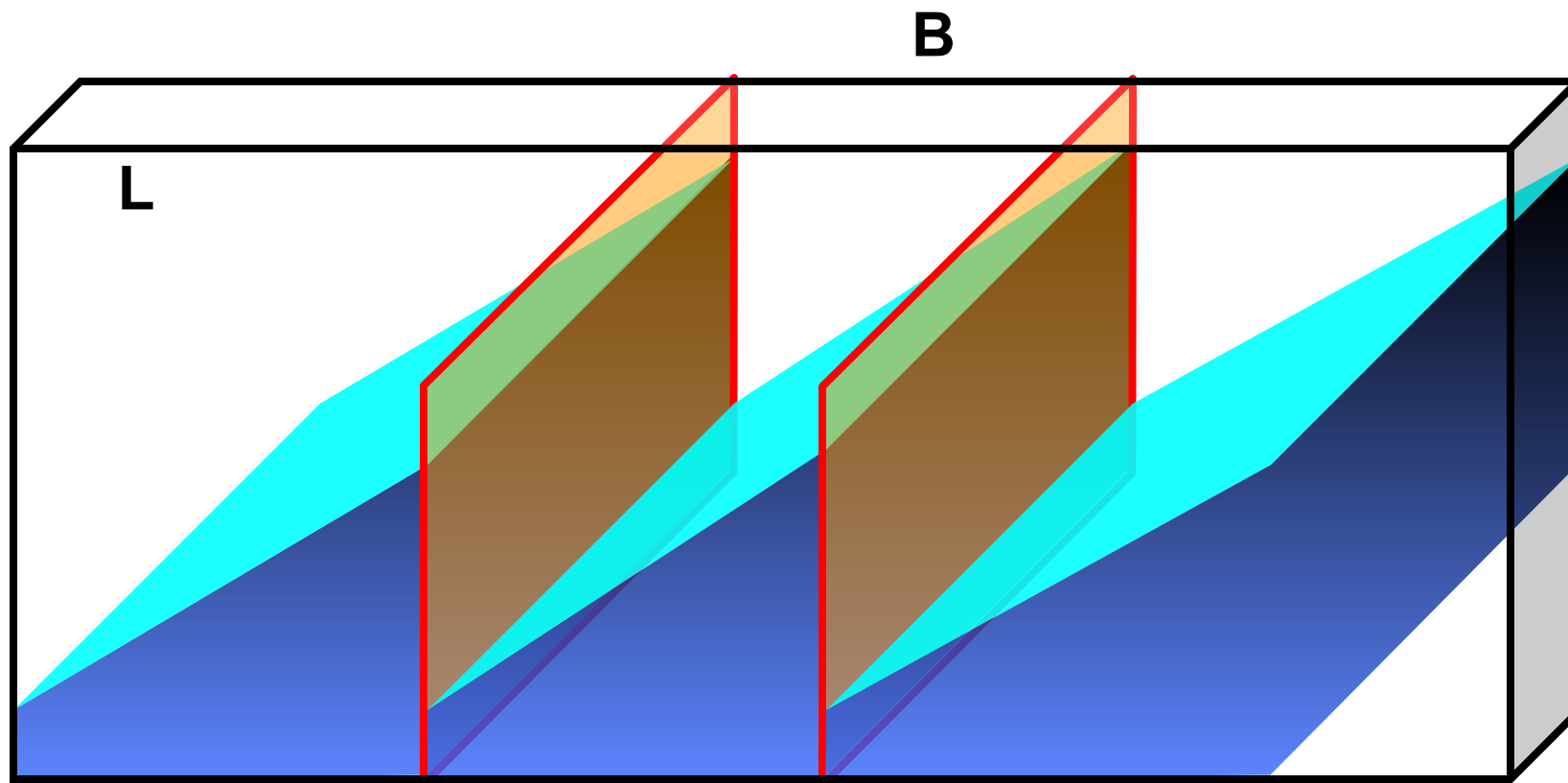
$$n^2 = 2^2 = 4$$



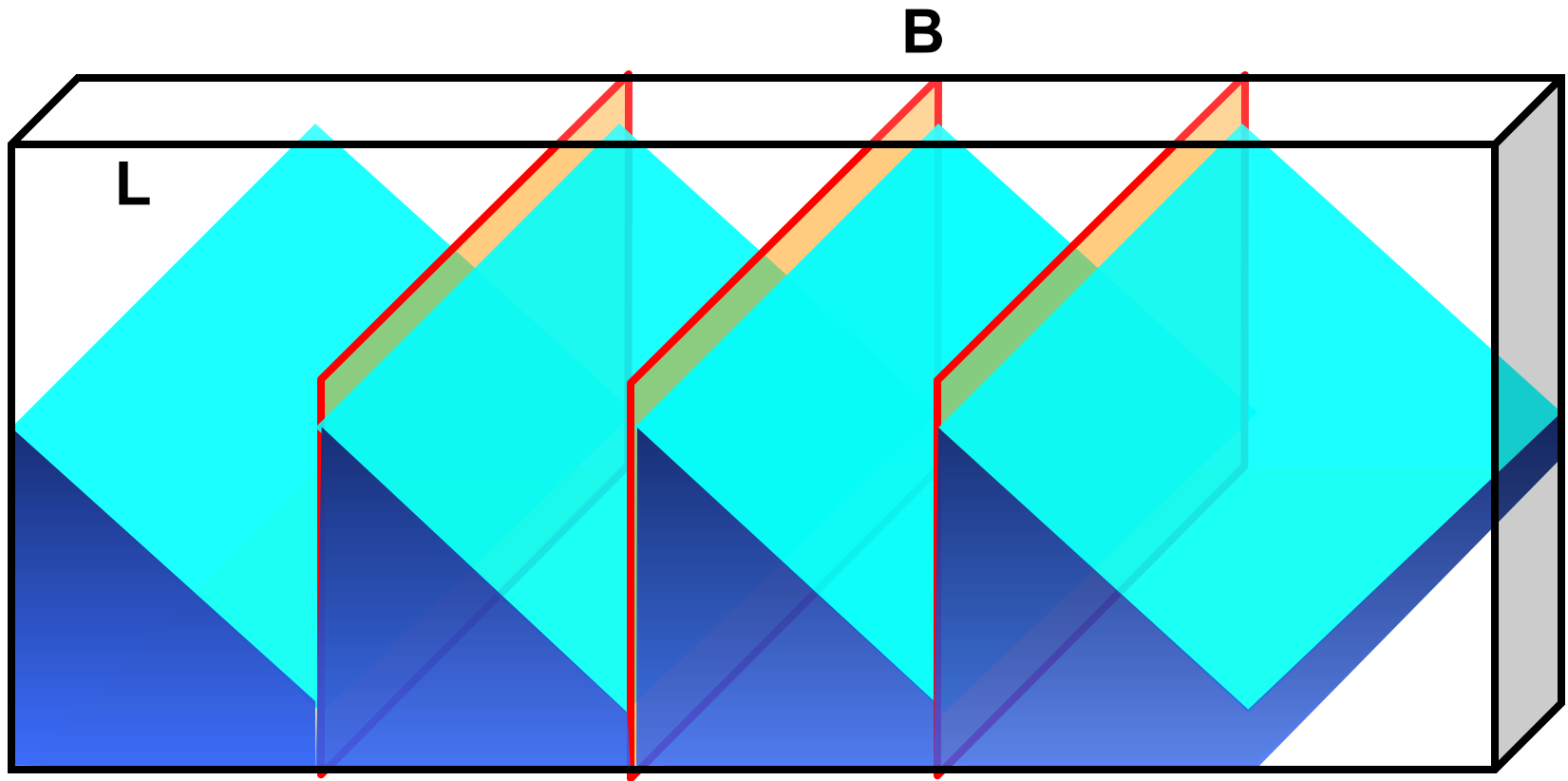




$$n^2 = 3^2 = 9$$



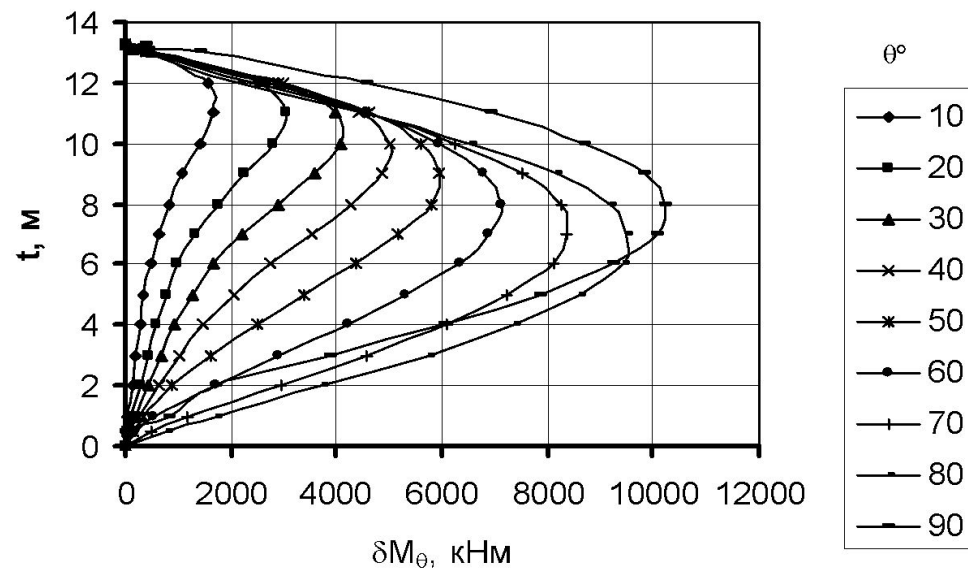
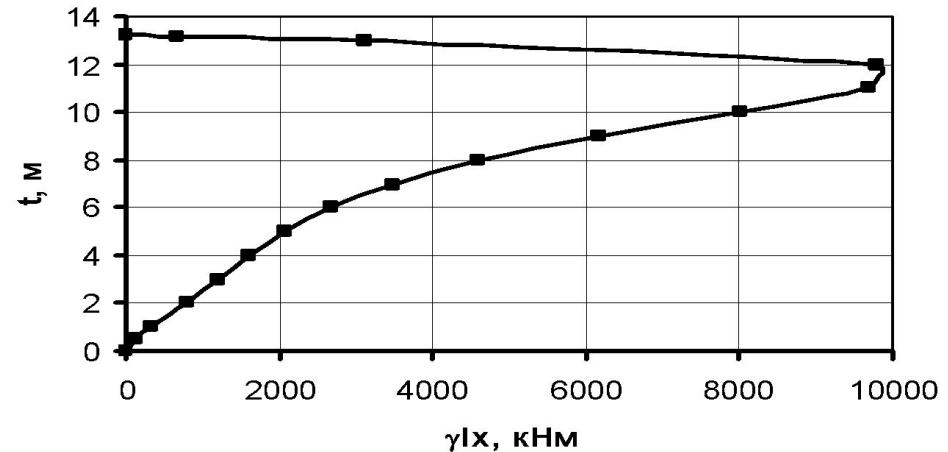
$$n^2 = 3^2 = 9$$



$$n^2 = 4^2 = 16$$

# Влияние жидких грузов на остойчивость на больших углах крена

- Численные расчёты показывают как меняется поправка к метацентрической высоте в зависимости от уровня жидкости
- И поправки к ДСО в зависимости от уровня жидкости и угла крена

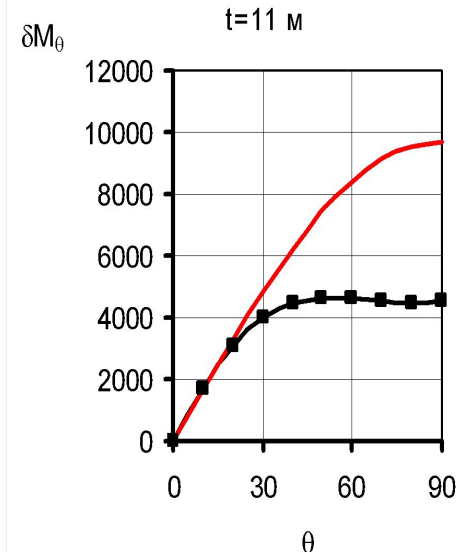
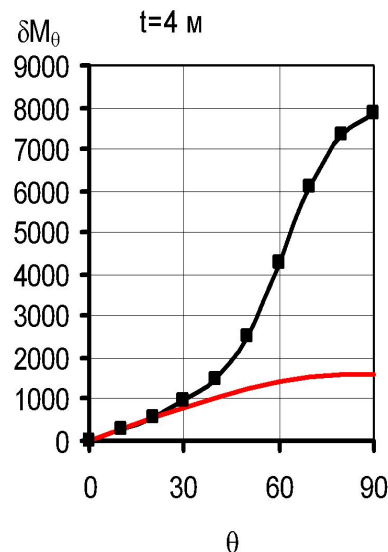
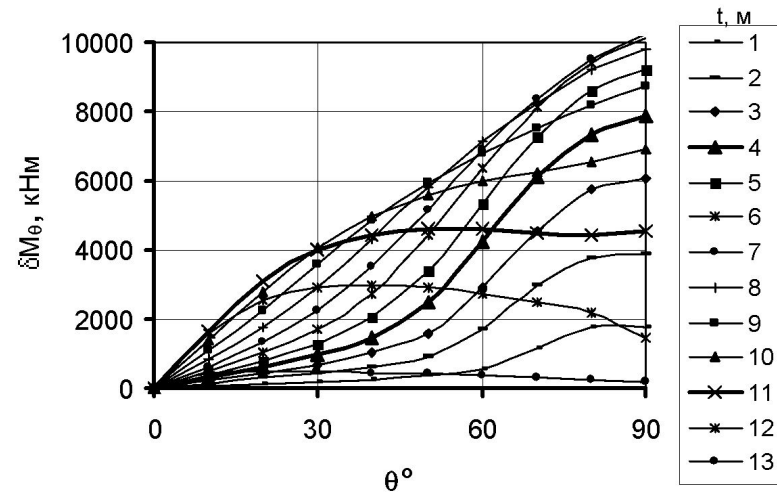


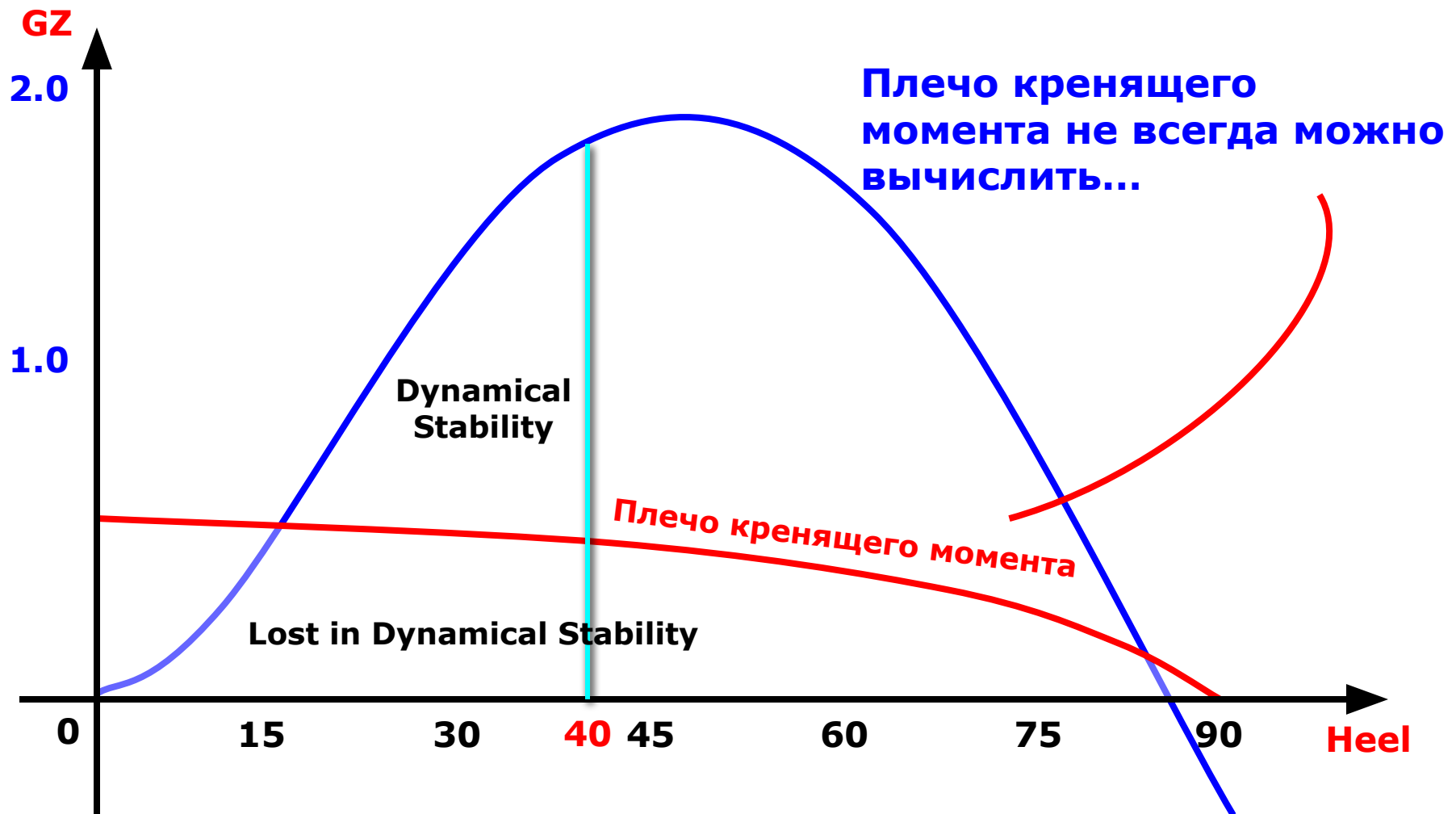
# Влияние жидких грузов на остойчивость на больших углах крена

- УЧИТЫВАЯ ТОЛЬКО поправку к ЦТ
- $\delta Zg = -\delta h$
- МЫ ВВОДИМ поправку к ДСО по формуле

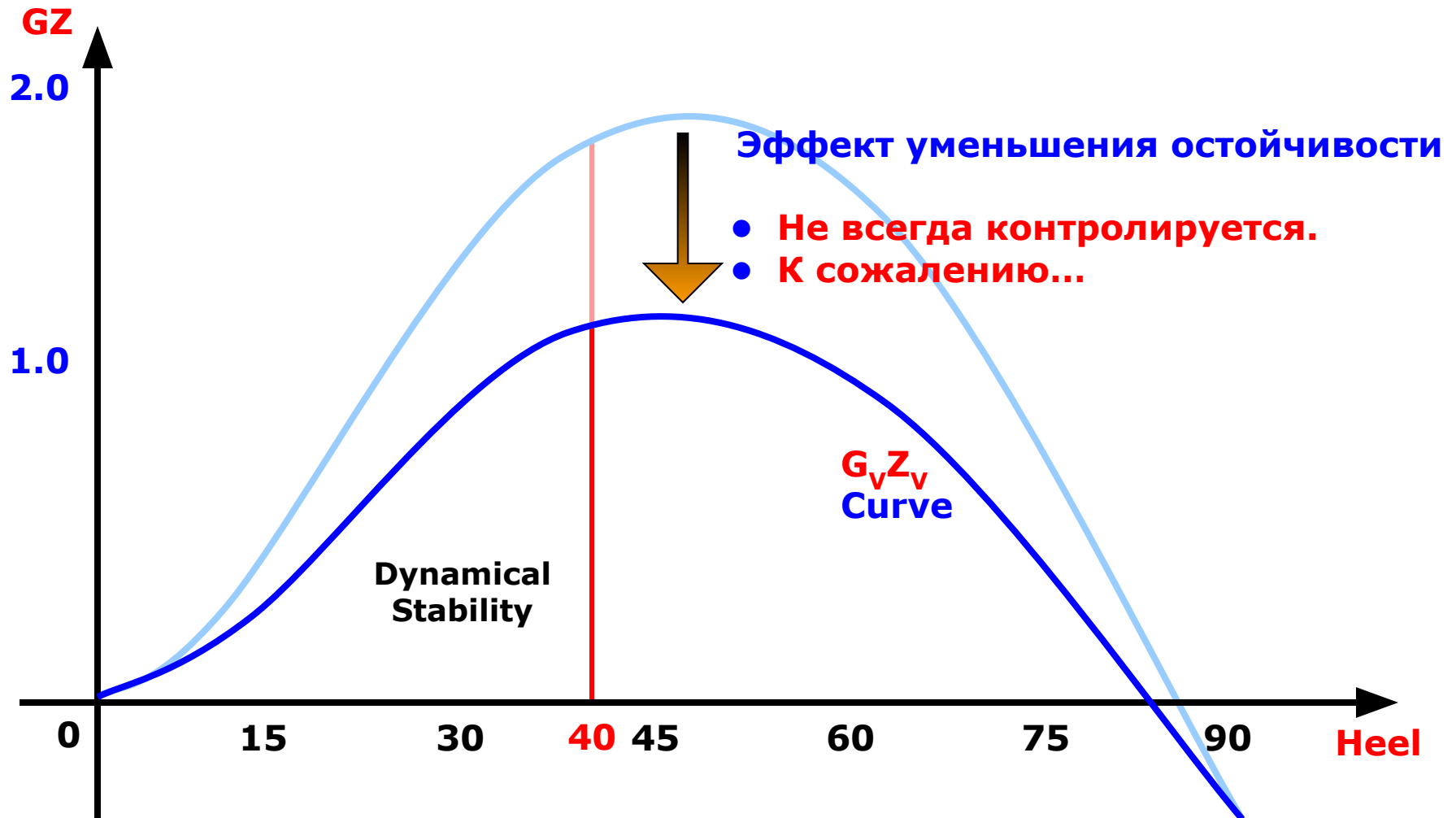
$$\delta l_{\theta} = \delta Zg \sin \theta$$

- а истинные поправки показаны на рисунках



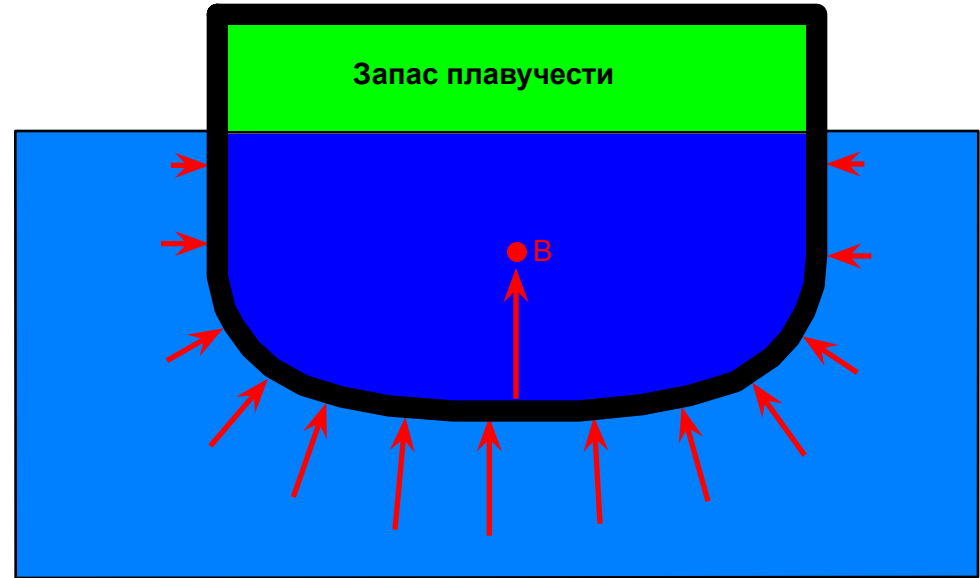
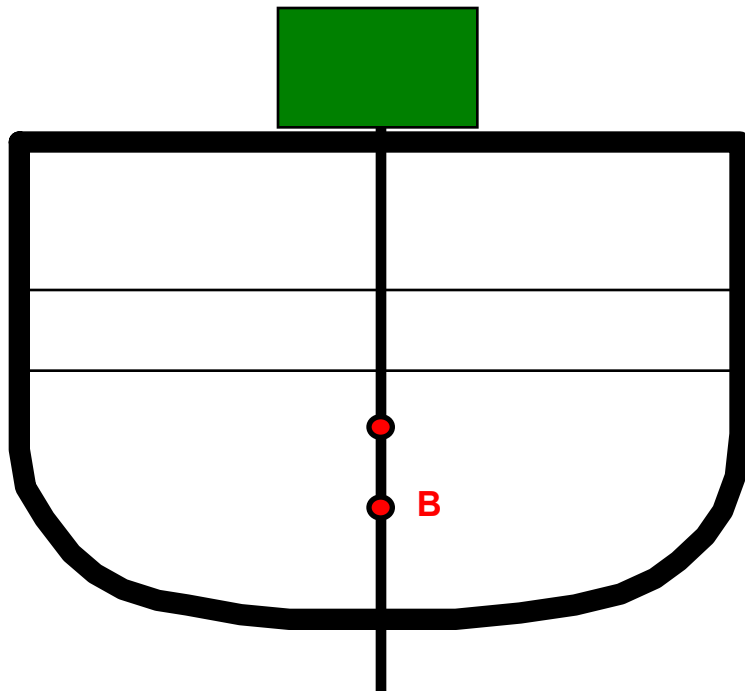






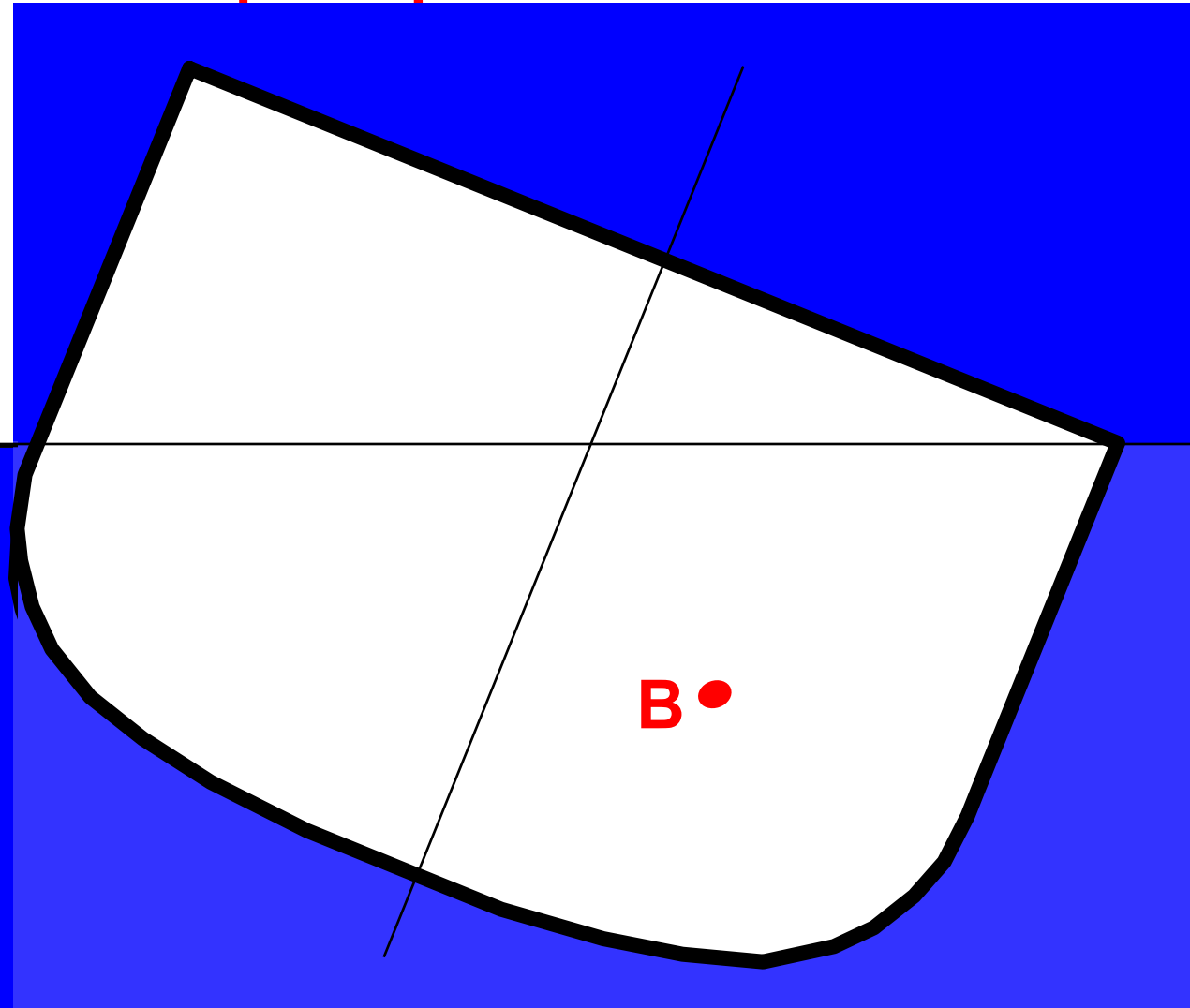


# Перемещение центра величины при изменении посадки

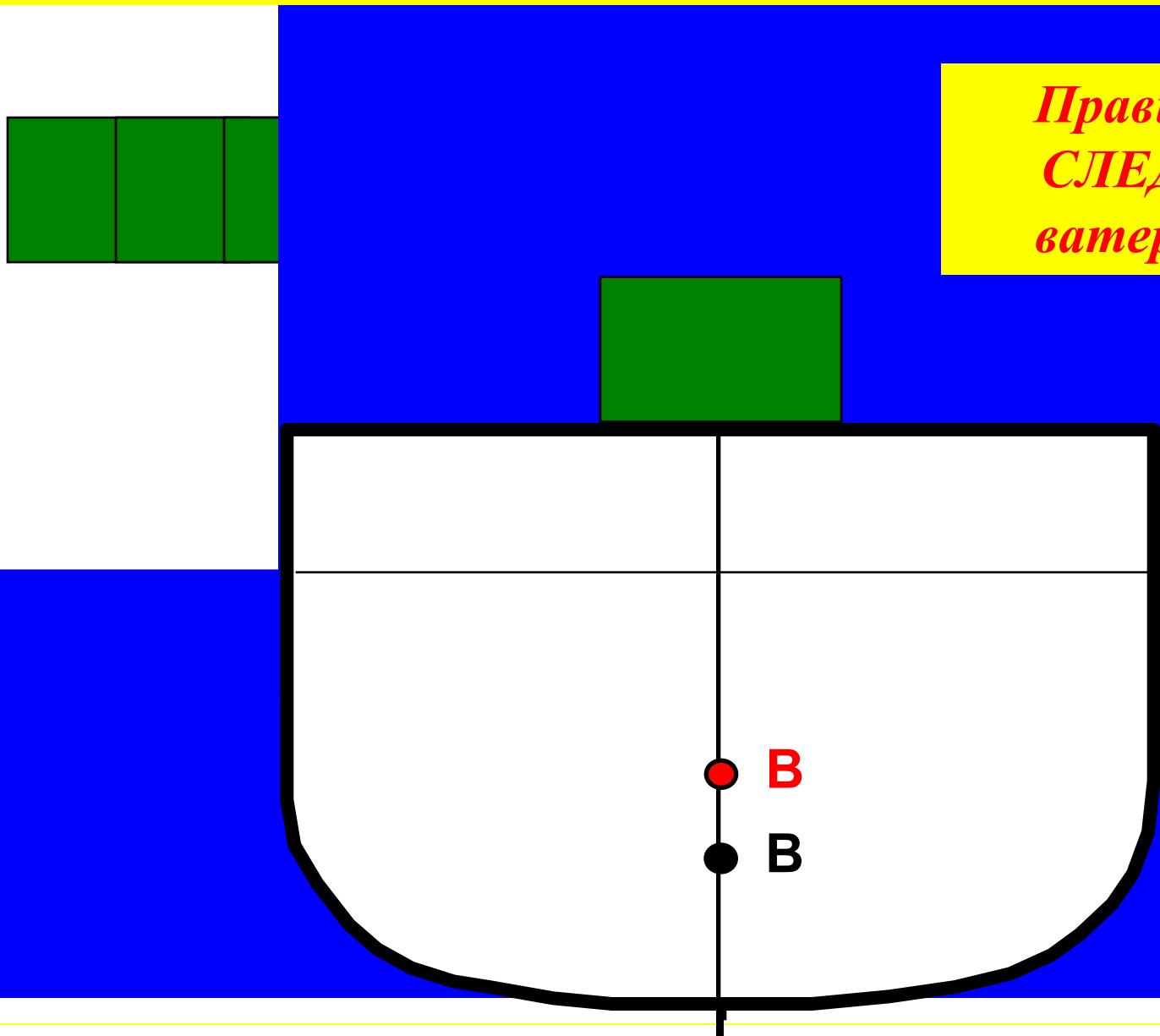


## Перемещение центра величины при изменении посадки

## Центр величины

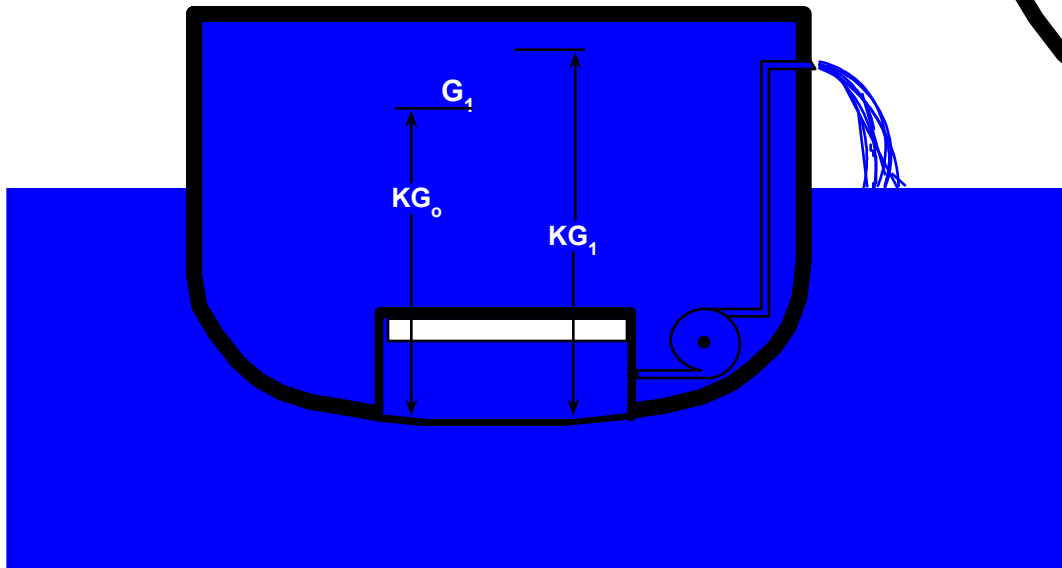
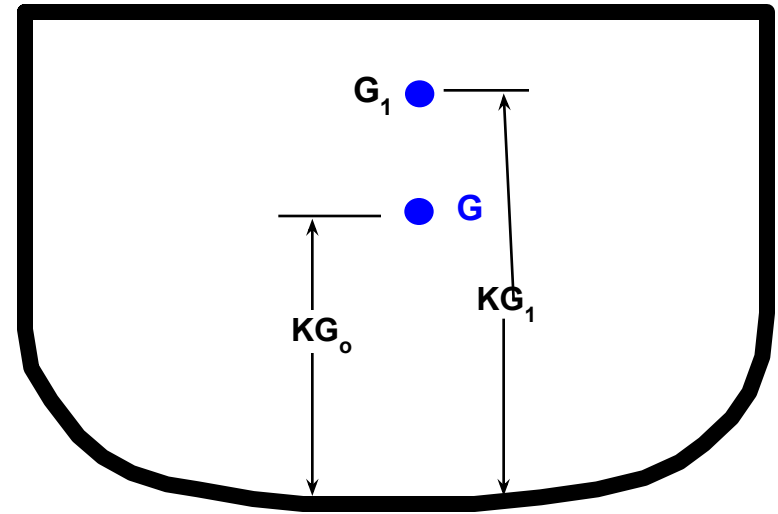


# Перемещение центра величины при изменении посадки

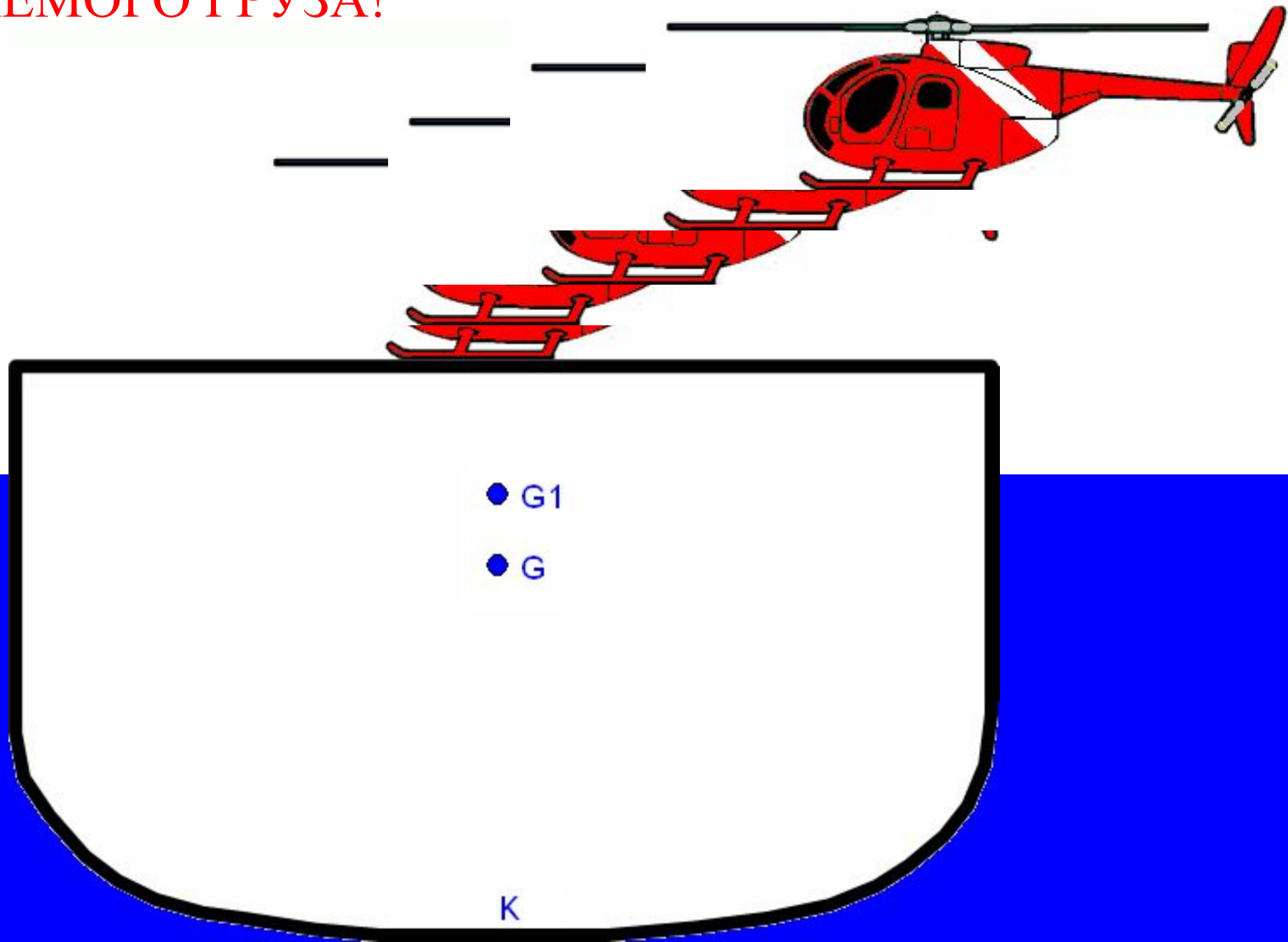


*Правило: "В"  
СЛЕДУЕТ за  
ватерлинией.*

## Перемещение центра тяжести судна при приеме (снятии) груза

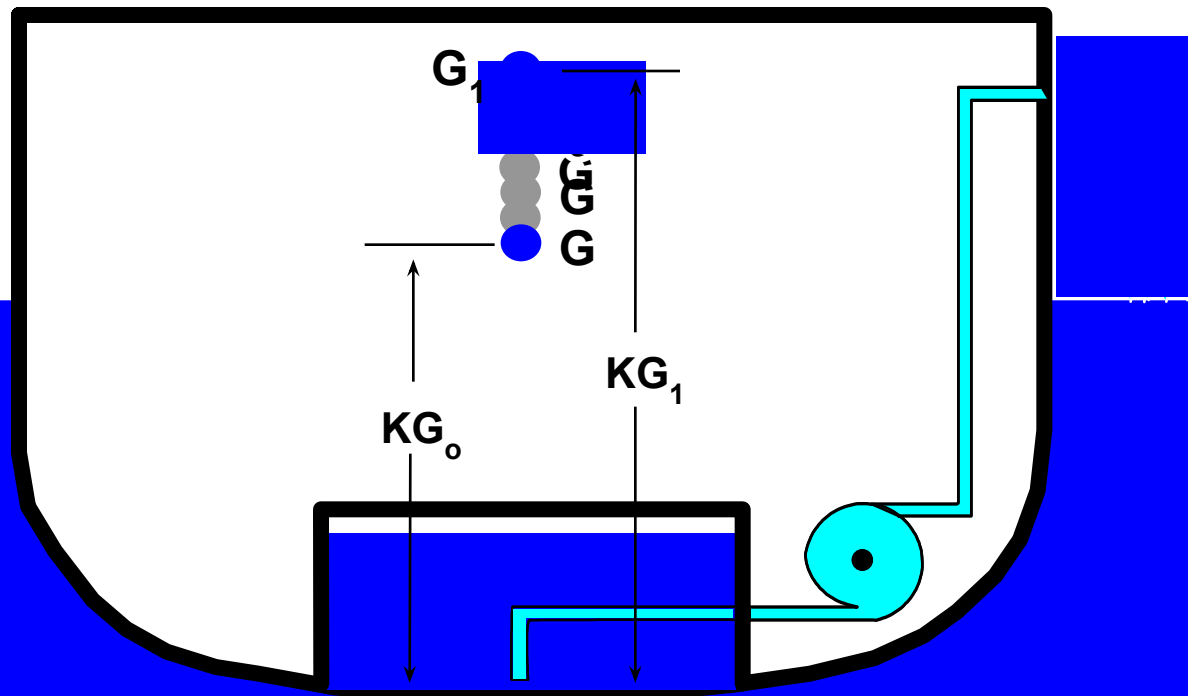
Центр тяжести  $G$ 

- $G$  перемещается в сторону центра тяжести
- ПРИНИМАЕМОГО ГРУЗА!





- $G$  перемещается в сторону ОТ центра тяжести
- УДАЛЯЕМОГО ГРУЗА!



# Plimsoll Mark

## Грузовая марка

The letters signify:

**LTF** Lumber, Tropical, Fresh

**LF** Lumber, Fresh

**LT** Lumber, Tropical

**LS** Lumber, Summer

**LW** Lumber, Winter

**LWNA** Lumber, Winter, North Atlantic

**LR** Lloyds Register of Shipping

**TF** Tropical Fresh Water Mark

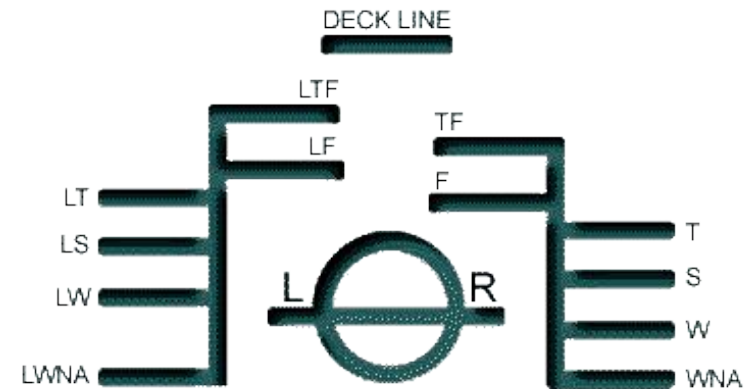
**F** Fresh Water Mark

**T** Tropical Load Line

**S** Summer Load Line

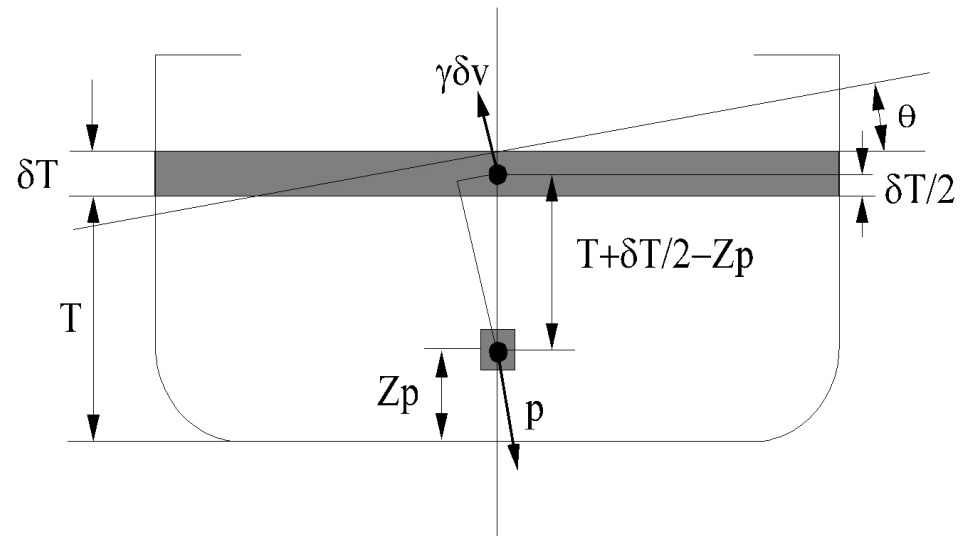
**W** Winter Load Line

**WNA** Winter Load Line, North Atlantic



# Влияние приёма груза на остойчивость

- При приёме малого груза в точку
- $x_p = x_f, y_p = 0, z = z_p$
- Изменения метацентрической высоты и коэффициента остойчивости будут



$$dh = \frac{p}{D + p} \left( T + \frac{dT}{2} - Z_p - h_0 \right)$$

$$\delta(Dh) = p \left( T + \frac{\delta T}{2} - Z_p \right)$$

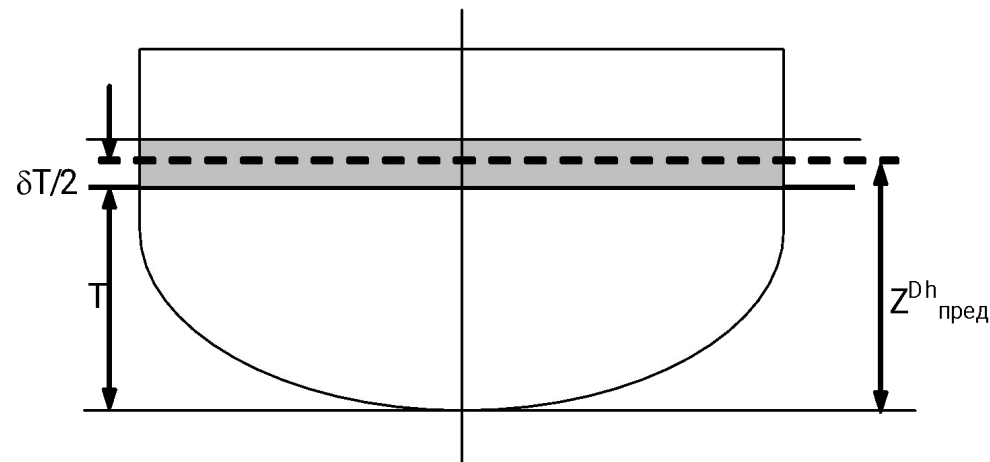
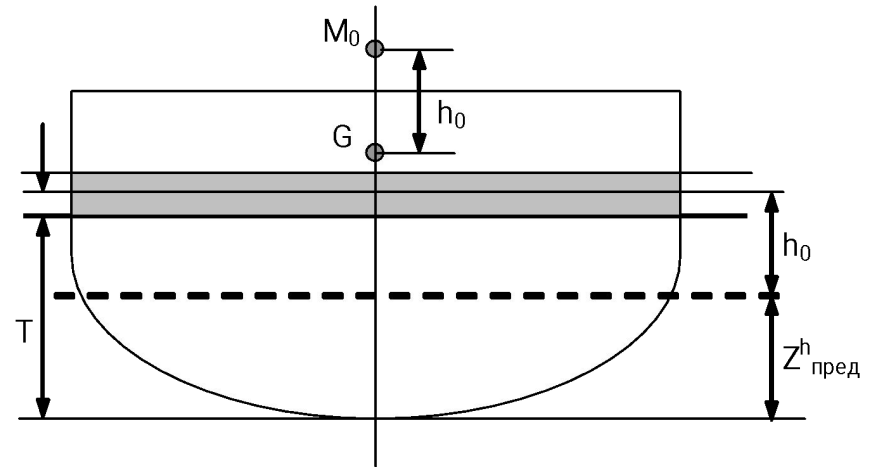
# Предельные плоскости

- Предельная плоскость для метацентрической высоты, при приёме в которую метацентрическая высота не изменится, будет

$$Z_{\text{пред}}^h = T + \frac{dT}{2} - h_0$$

- А для коэффициента остойчивости

$$Z_{\text{пред}}^{Dh} = T + \frac{dT}{2}$$



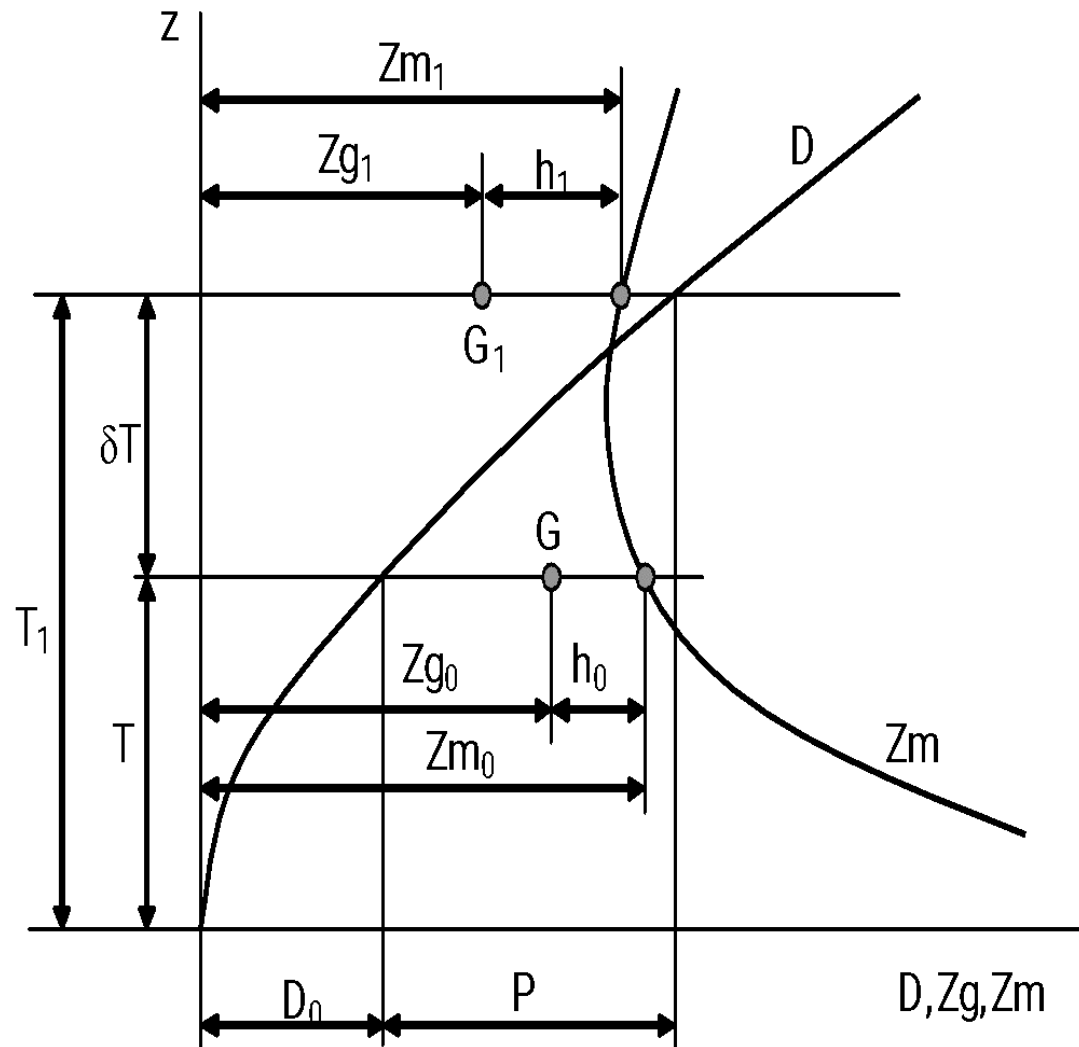
## Влияние приёма большого груза

- Влияние большого груза на начальную остойчивость рассчитывается по метацентрической диаграмме

$$D_1 = D_0 + P$$

$$X_{g1} = \frac{D_0 X_{g0} + P X_p}{D_0 + P}$$

$$Z_{g1} = \frac{D_0 Z_{g0} + P Z_p}{D_0 + P}$$



# Благодарю за внимание!



The End...