

# Аварийная остойчивость. Спрявление судна

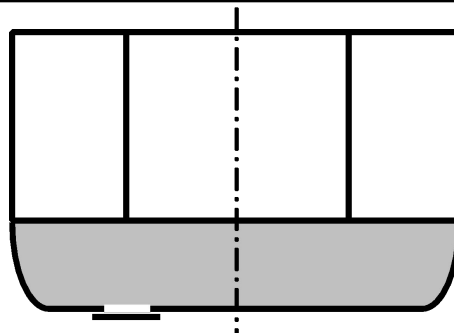
---

К.т.н., доц. Ю.Л.Маков

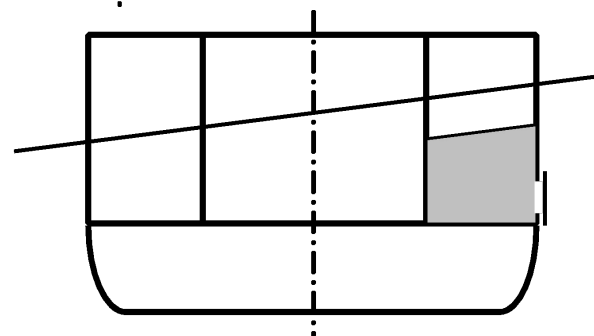
# Категории затапливаемых отсеков

---

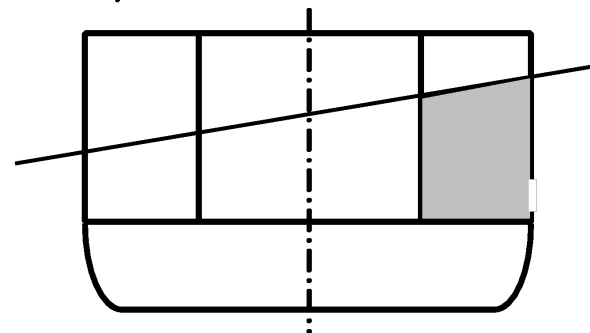
□ Отсек 1 категории



□ Отсек 2 категории



□ Отсек 3 категории



# Коэффициенты проницаемости

---

- Коэффициент проницаемости – это отношение **фактически** влившегося объёма воды к **теоретическому** объёму.
- При расчётах обычно принимают коэффициенты проницаемости, рекомендованные Регистром.
- Например, для цистерн и междудонных пространств  $\mu = 0.98$ , для машинных отделений  $\mu = 0.85$ , для загруженных трюмов  $\mu = 0.60$  и т.д.



# Методы расчёта непотопляемости

---

- Метод приёма груза (метод переменного водоизмещения)
- Метод исключения (метод постоянного водоизмещения)

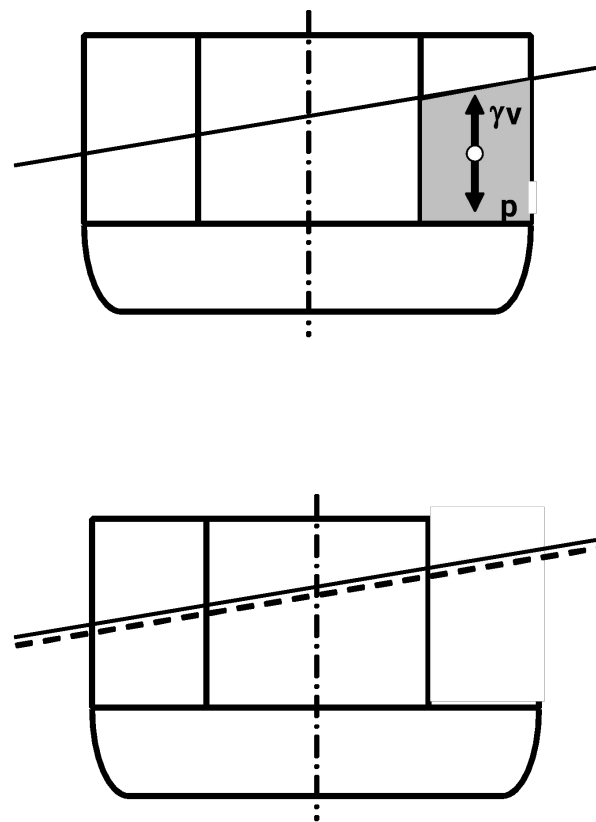
# Метод приёма груза

---

- Воду, влившуюся в повреждённый отсек, можно рассматривать как груз, принятый на судно. Этот груз можно считать твёрдым, если это отсек 1-й категории, и необходимо считать жидким (т.е. учитывать влияние свободной поверхности), если это отсек 2-й или 3-й категории. Тогда изменение посадки и остойчивости можно считать по формулам раздела «Влияние приёма груза на остойчивость»

# Метод исключения

- К объёму жидкости  $V$  в повреждённом отсеке приложены сила тяжести  $P$  и равная ей, но противоположно направленная, сила поддержания  $\gamma V$ .
- Они проходят через центр тяжести затопленного отсека и взаимно уравниваются. Следовательно, они могут быть исключены из рассмотрения, как и объём затопленного отсека может быть исключён из объёма погруженной части судна.



# Метод исключения

---

- Мы пренебрегаем также силой тяжести обшивки в пределах затопленного отсека. Объёмное водоизмещение судна, его вес, масса, координаты центра тяжести (центра масс) останутся постоянными, но форма погруженной части, координаты центра величины – изменятся.

# Методы расчёта непотопляемости

---

- Расчёт непотопляемости независимо от типа отсека можно производить **любым** способом.
- Однако :
- способ **приёма груза удобнее** использовать для отсеков **1-й и 2-й** категории,
- а способ **постоянного водоизмещения** - для отсеков **3-й** категории.



# Методы расчёта непотопляемости

---

- Если сравнить результаты расчёта непотопляемости двумя этими методами, то окажется, что значения реальных физических величин, определяющих положение судна после затопления отсека (таких, как средняя осадка, углы крена и дифферента, восстанавливающие моменты и коэффициенты остойчивости), не зависят от способа расчёта.
- Что касается «придуманной» величины - метацентрической высоты (как Вы помните, это расстояние между двумя вымышленными точками - центром тяжести и метацентром), то её значения, найденные двумя разными способами, различны. Также будут различны и плечи ДСО.

# Методы расчёта непотопляемости

---

- Из равенства коэффициентов остойчивости, вычисленных двумя различными способами

$$(D+p)h_1 = Dh_2,$$

- следует, что метацентрическая высота  $h_1$ , найденная методом приёма груза (методом переменного водоизмещения), равна

$$h_1 = \frac{D}{D+p} \cdot h_2.$$

- а методом постоянного водоизмещения (методом исключения) равна

$$h_2 = \frac{D+p}{D} \cdot h_1$$

# Поведение аварийного судна в штормовом море

---

- Наблюдение за поведением моделей повреждённых судов и процессом их опрокидывания позволило сделать ряд важных, на наш взгляд, выводов :
- Вода, влившаяся в аварийный отсек, очень сильно демпфирует бортовые колебания судна. Ранний вход в воду палубы и фальшборта (из-за уменьшенной высоты надводного борта аварийного судна) ещё более усиливает это демпфирование. Бортовая качка судна весьма незначительна и мало зависит от интенсивности волнения.

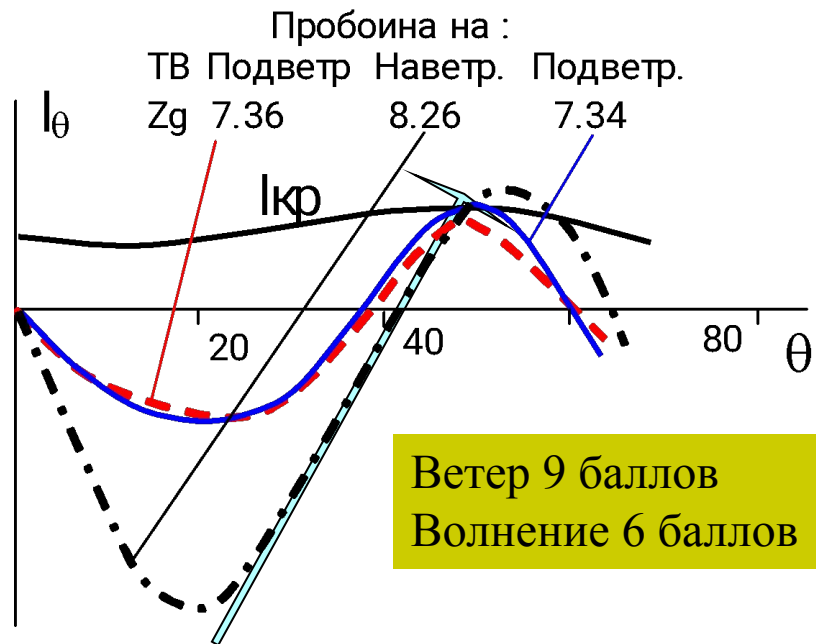
# Поведение аварийного судна в штормовом море

---

- Начальная метацентрическая высота не играет существенной роли при опрокидывании судна. Однако отрицательная метацентрическая высота и вызванный ею угол крена могут существенно осложнить ведение борьбы за спасание судна!

# Поведение аварийного судна в штормовом море

- Диаграммы статической остойчивости при критическом возвышении центра тяжести (это центр тяжести, при котором опрокидывалась модель в заданных условиях) существенно отличались друг от друга по всем параметрам
- (начальная метацентрическая высота, начальный угол крена из-за отрицательной начальной остойчивости, протяженность диаграммы с положительными плечами),.



- кроме *максимального плеча диаграммы статической остойчивости*

# Поведение аварийного судна в штормовом море

---

- Именно *максимальное плечо ДСО*, по нашему мнению, *является наиболее важной практической характеристикой устойчивости аварийного судна*

# Поведение аварийного судна в штормовом море

---

- Опрокинуть судно через неповреждённый борт гораздо труднее, чем через борт с пробоиной. Это объясняется тем, что при крене на повреждённый борт входит в воду разрушенная палуба переборок, по ней начинает растекаться вода и значительно уменьшаются плечи статической остойчивости.
- Так что **«подставляй волнам разрушенный борт»!**

# Поведение аварийного судна в штормовом море

---

- Опрокидывает судно, в основном, ветер, а не волнение.
- Опрокидывание всегда происходит по ветру и волнению.
- Порывы ветра не оказывают существенного влияния на динамику накренения судна. Более существенно влияет ветер постоянной силы.
- Крен судна нарастает постепенно по мере развития дрейфа. Судно совершает небольшие колебания около некоторого «псевдостатического» угла крена (постепенно нарастающего), дрейфует и опрокидывается практически «в статике» при угле крена равном углу максимума диаграммы статической остойчивости  $\theta_m$ .



# Спрявление судна

---

- Почему у судна бывает крен?
- 1. Потому что его кто-то кренит.
- 2. Потому что оно не может стоять прямо (это значит, что прямое положение равновесия у него неустойчивое).
- **Спрявление судна в первом и во втором случаях производится совершенно по-разному.**

# Спрявление судна

---

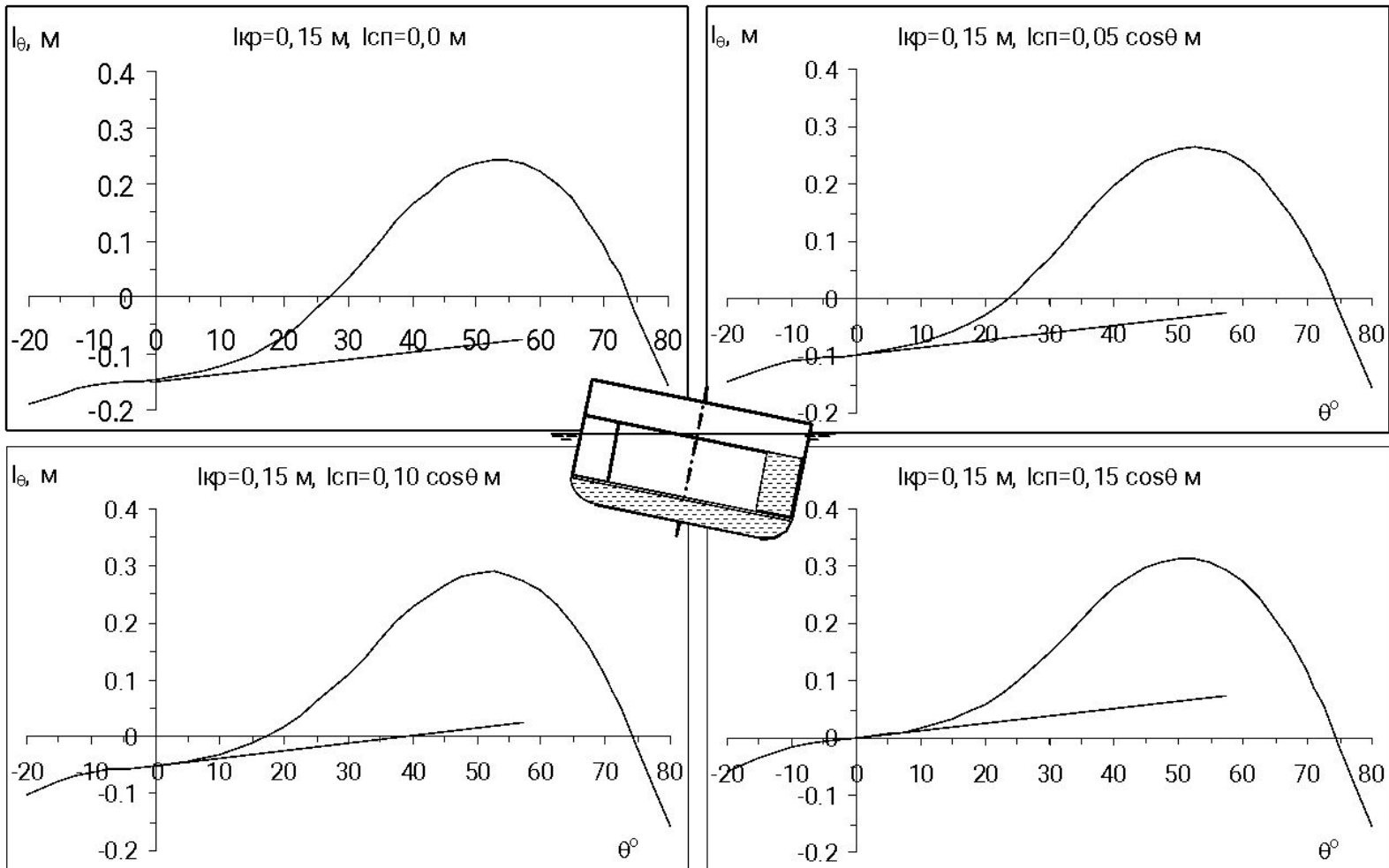
- **Поэтому, прежде чем спрявлять судно, надо выяснить, почему у него образовался крен.**
- Рассмотрим несколько типичных видов диаграммы статической остойчивости судна, сидящего с креном.

# Спрявление судна

---

- Рассмотрим 1-й случай, когда крен образовался из-за действия кренящего момента. Как образовался этот момент совершенно неважно: то ли из-за сместившегося груза, то ли из-за несимметричного затопления, то ли еще из-за чего ни будь. Чтобы спрямить судно, надо к нему приложить такой же по величине кренящий момент, но действующий в противоположную сторону (спрямляющий момент).

# Спрямление судна



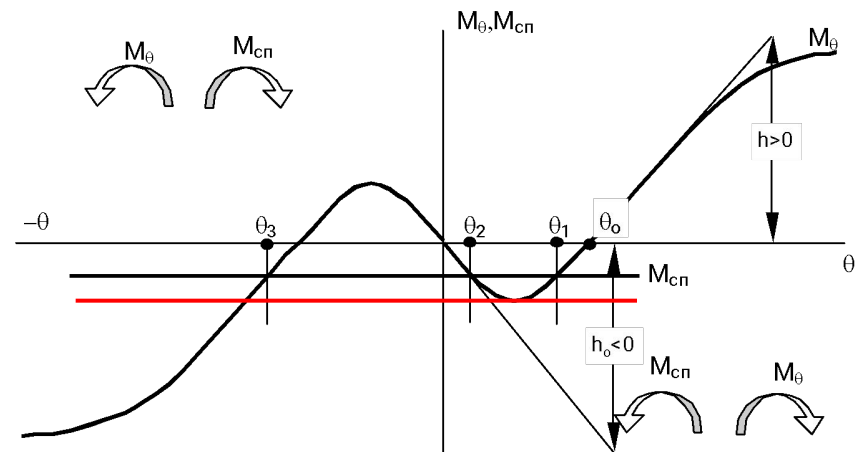
# Спрявление судна

---

- Рассмотрим 2-й случай, когда затопление симметричное, но начальная метацентрическая высота меньше нуля

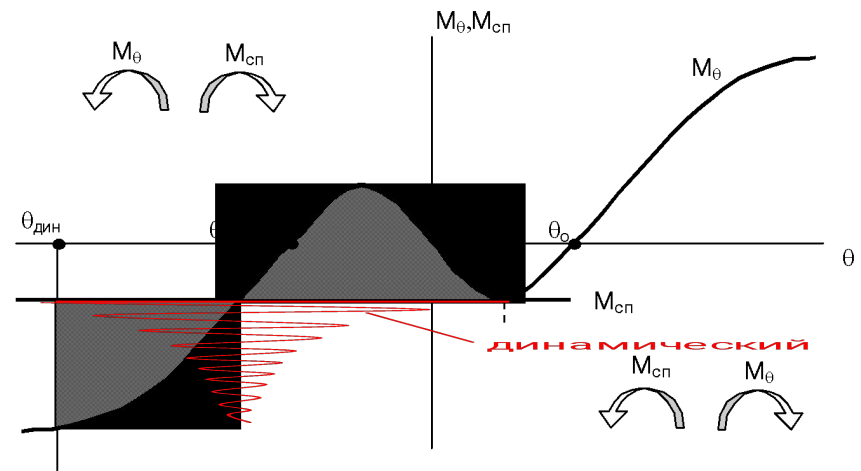
# Спрявление судна

- Если к судну приложить некоторый спрямляющий момент  $M_{сп}$ , то угол крена уменьшится с  $\theta_0$  до  $\theta_1$ .
- При дальнейшем увеличении спрямляющего момента наступит такое положение, когда этот момент станет равен минимальному восстанавливающему моменту или чуть-чуть превысит его.



# Спрявление судна

- Это произойдёт при угле крена примерно  $\theta_0/2$ . В этот момент начнётся переваливание судна на противоположный борт.
- Таким образом, приложением спрямляющего момента крен **допускается уменьшать примерно до угла  $\theta_0/2$ .**



- Переваливание будет происходить с ускорением, судно наберёт некоторую инерцию и не остановится в положении статического равновесия на левом борту  $\theta_{ст}$ , а будет крениться до угла крена  $\theta_{дин}$ , пока не погасится вся инерция (на рисунке этот угол соответствует равенству затенённых площадей), затем судно начнёт совершать затухающие колебания и в конце концов станет плавать с углом крена  $\theta_{ст}$ , если до этого не опрокинется в первом размахе.

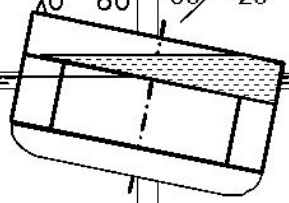
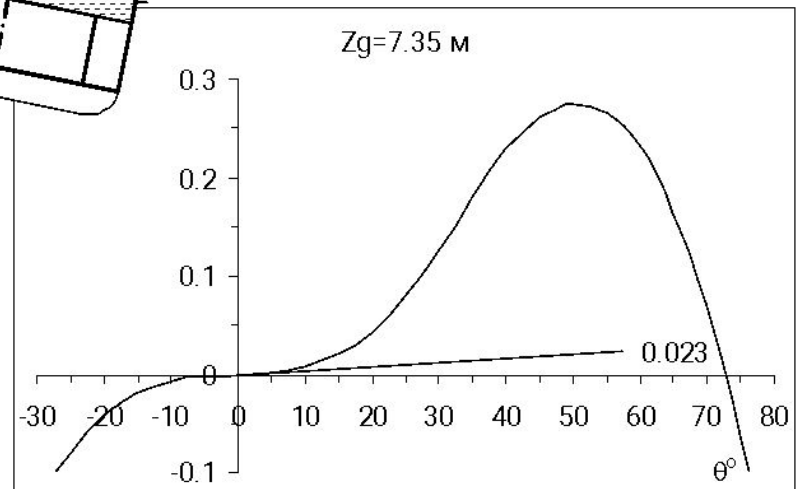
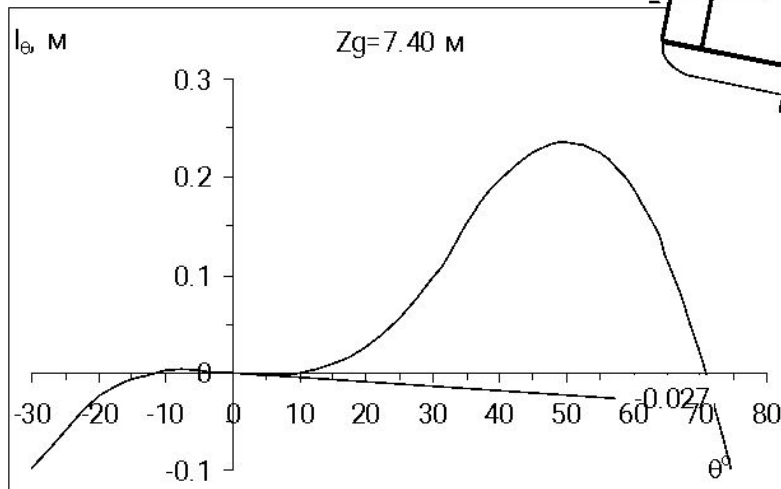
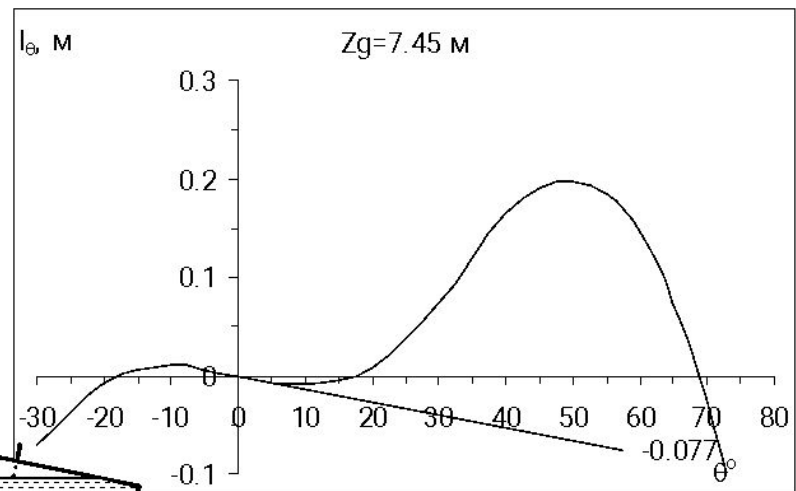
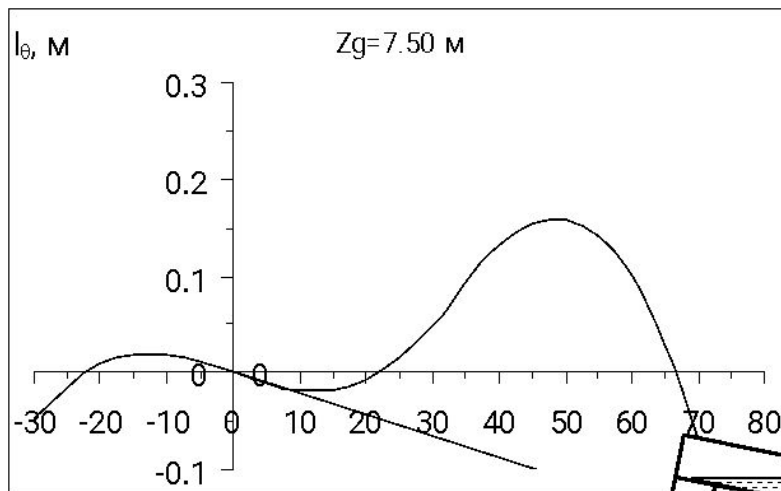
# Спрявление судна

---

- *Таким образом, крен, вызванный отрицательной начальной устойчивостью нельзя спрямить приложением к судну спрявляющего момента! Спрямить судно в этом случае можно только увеличением его устойчивости (понижением центра тяжести).*



# Спрямление судна



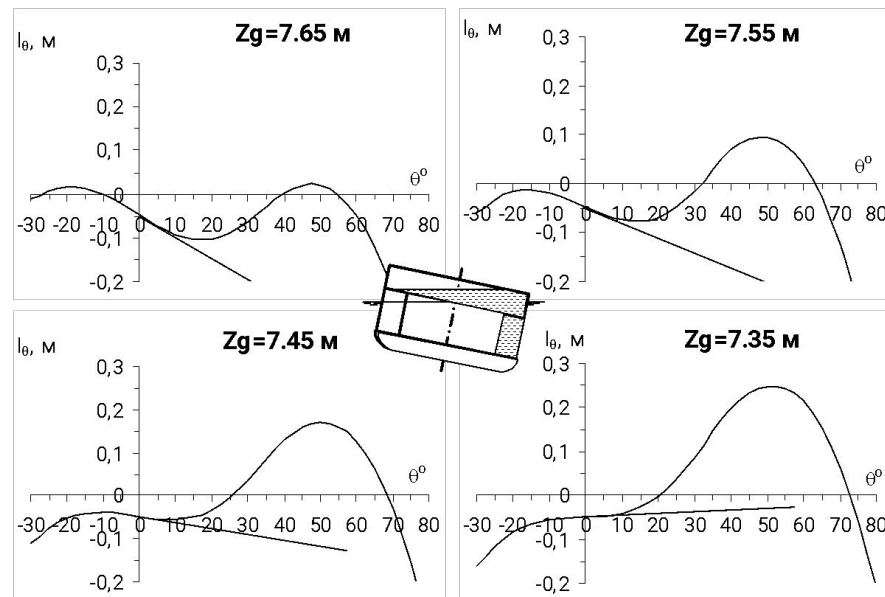
# Спрявление судна

---

- Третий случай может рассматриваться как комбинация двух первых. Судно имеет несимметричное затопление и отрицательную начальную остойчивость

# Спрямление судна

- В нём можно ещё выделить варианты:
- как при  $Zg=7.65$  м; судно стоит с креном примерно  $27^\circ$  на левый борт;
- как при  $Zg=7.65$  м; судно стоит с креном примерно  $38^\circ$  на правый борт;
- как при  $Zg=7.55$  м; возможно только одно положение равновесия с креном примерно  $32^\circ$  на правый борт



# Спрявление судна

---

- Во всех этих случаях вначале надо сделать начальную остойчивость положительной. В нашем примере необходимо центр тяжести судна понизить примерно до  $Z_g = 7.35$  м. При этом ДСО станет как в первом типовом случае, и теперь крен может быть ликвидирован приложением спрявляющего момента (в данном случае  $l_{сп} = 0,05 \cos\theta$ ).



# Благодарю за внимание!

---

□ Конец

**E-mail: [makov@klgtu.ru](mailto:makov@klgtu.ru)**