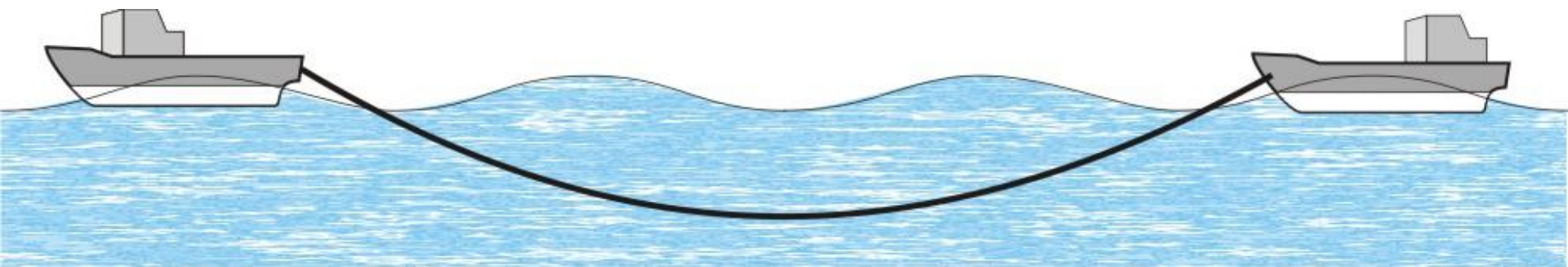


# МОРСКАЯ БУКСИРОВКА



## Постановка задачи

Одним из ключевых факторов для оценки возможности проведения буксировки являются ожидаемые гидрометеорологические условия.

В расчете на ожидаемые погодные условия может ставиться одна из трёх задач:

1. Подобрать трос достаточной прочности и длины для проведения буксировки с заданной скоростью.
2. Собрать из подручных материалов буксирную линию, обеспечивающую безопасную буксировку с заданной скоростью.
3. Определить предельно допустимую скорость буксировки для имеющегося буксирного троса.

# Скорость буксировки

Скорость буксировки является ключевой величиной в формировании горизонтальной силы, растягивающей буксирную линию.

Применительно к буксировочной операции используют два понятия:

- 1. *Предельно возможная скорость буксировки*** – это та максимальная скорость, на которую хватит мощности буксировщика.
- 2. *Заданная скорость буксировки*** – это та скорость, на которую рассчитывается прочность буксирной линии для ожидаемых условий плавания.

# Предельно возможная скорость буксировки

Определение предельно возможной скорости буксировки производится для оценки самой возможности этой операции, т.е. **хватит ли вообще мощности буксировщика.**

Тяга винта буксировщика расходуется на преодоление сопротивления среды (воды и воздуха) движению буксировщика, буксируемого объекта и буксирной линии, если она погружена в воду.

Для определения **предельно возможной скорости** необходимо рассчитать, при какой скорости сопротивление среды достигнет величины тяги, создаваемой винтом буксировщика при нагрузке двигателя, соответствующей ППХ.

# Расчет тяги буксировщика

Для расчета тяги, создаваемой буксировщиком, используются разные формулы. Все они получены эмпирическим путем в результате натурных испытаний определенных винтов, поэтому их нельзя считать универсальными и дающими абсолютно точный результат применительно к любому винту.

*В частности, имеет значение высоко- или низкооборотный винт, большое, или малое у винта дисковое отношение, и т.д.*

Однако, принимая во внимание то, что все параметры, входящие в расчет, принимаются с определенными допусками, формулами можно пользоваться, выбирая наиболее подходящую по комментариям к ней (для каких винтов она разрабатывалась).

Широкое распространение для расчета упора винта на швартовах получила формула:

$$T = 1,13 * \left( 1,9 - \frac{H_{\epsilon}}{D_{\epsilon}} \right) * \frac{P_{\epsilon}}{D_{\epsilon} * n}$$

где  $H_{\epsilon}$  - шаг винта, м;

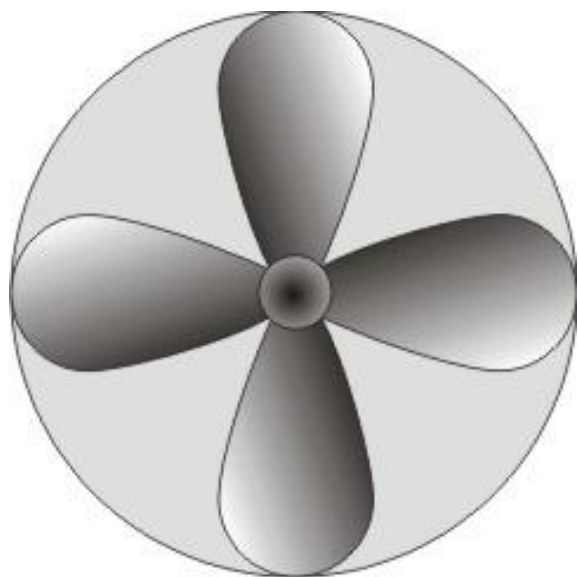
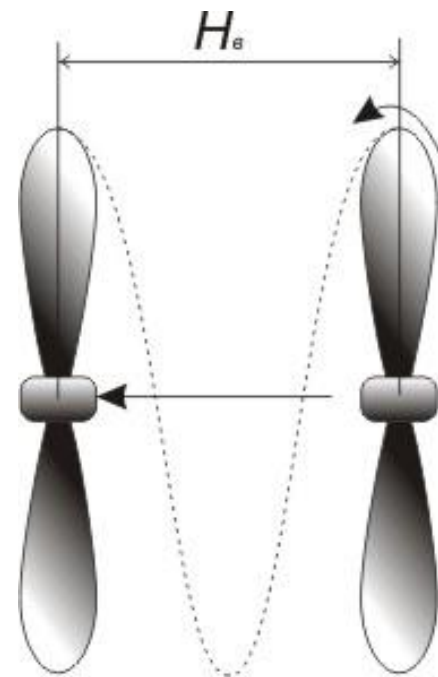
$D_{\epsilon}$  - диаметр винта, м;

$P_{\epsilon}$  - мощность, потребляемая гребным винтом, кВт ;

$n$  - частота вращения гребного винта, с<sup>-1</sup> ( об./с).

## Параметры винта

**Шаг винта** – расстояние, проходимое винтом за один оборот при прокручивании в твердом теле.



**Дискосое отношение** – отношение площади проекции винта на плоскость мидель-шпангоута к площади круга с диаметром, равным диаметру винта.

# Расчет сопротивлений

Суммарное сопротивление каравана складывается из трех составных частей:

$$\Sigma R = \Sigma R_{б-ка} + \Sigma R_{б-зо} + R_{тр} ,$$

где  $\Sigma R_{б-ка}$  - полное сопротивление буксировщика, кН ;

$\Sigma R_{б-зо}$  - полное сопротивление буксируемого судна, кН ;

$R_{тр}$  - сопротивление воды движению буксирного троса, кН.

# Расчет сопротивлений буксировщика

Для приближенного определения полного сопротивления буксировщика его следует разделить на составные части :

$$\Sigma R_{б-ка} = R_f + R_r + R_{возд} + R_{волн} ,$$

где  $R_f$  - сопротивление трения, кН ;

$R_r$  - остаточное сопротивление , кН ;

$R_{возд}$  - сопротивление воздуха, кН ;

$R_{волн}$  - сопротивление от волнения, кН.



# Расчет сопротивлений буксируемого судна

Полное сопротивление буксируемого судна в отличии от буксировщика будет иметь еще одну составную часть - сопротивление винта  $R_{вт}$ , т.е.:

$$\Sigma R_{б-го} = R_f + R_r + R_{возд} + R_{волн} + R_{вт}$$

# Расчет сопротивлений буксирного троса

Сопротивление воды движению погруженной части буксирного троса рекомендуется определять из выражения:

$$R_{mp} = 0.04 L_n * d_{mp} * V^2 ,$$

где  $L_n$  - длина погруженной части троса, м :

$d_{mp}$  - диаметр троса, м ;

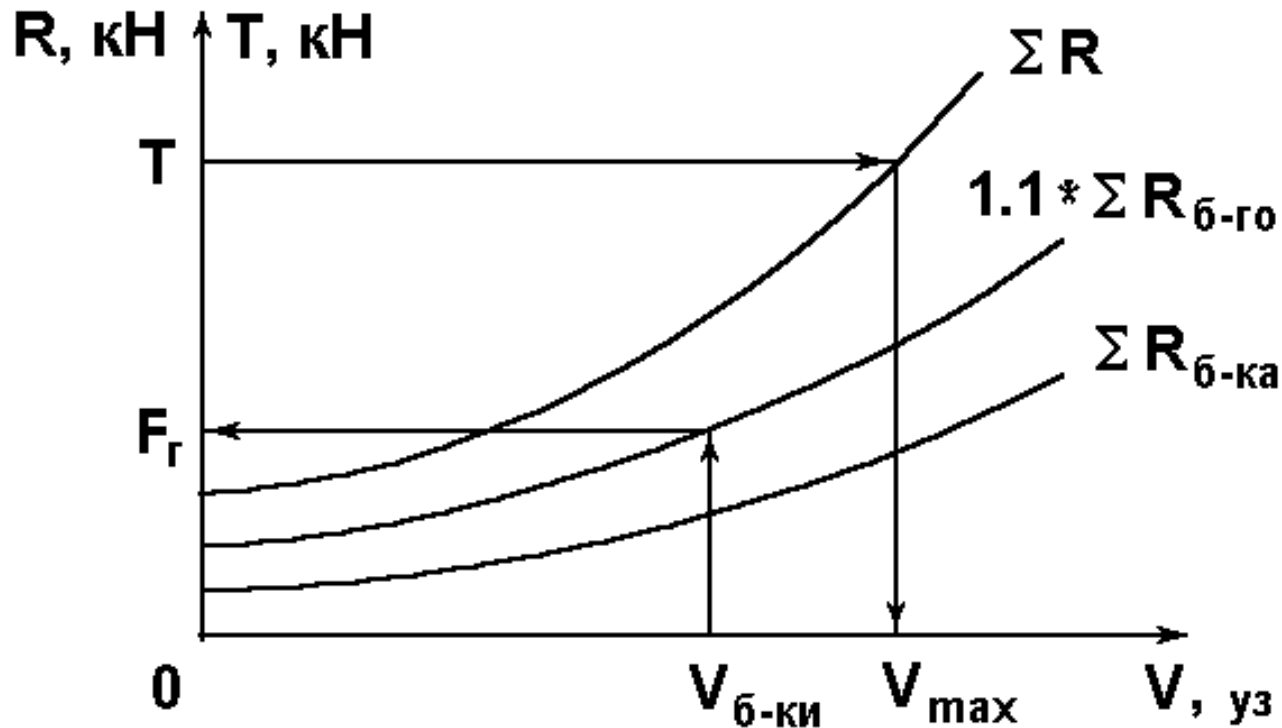
$V$  - скорость буксировки, м/с.

Для практических расчетов сопротивление буксирного троса можно принять равным 10 % от полного сопротивления буксируемого судна, т.е.:

$$R_{mp} = 0.1 \Sigma R_{б-го}$$

## Результаты расчетов

Сопротивления рассчитываются для разных скоростей, чтобы построить график сопротивлений.



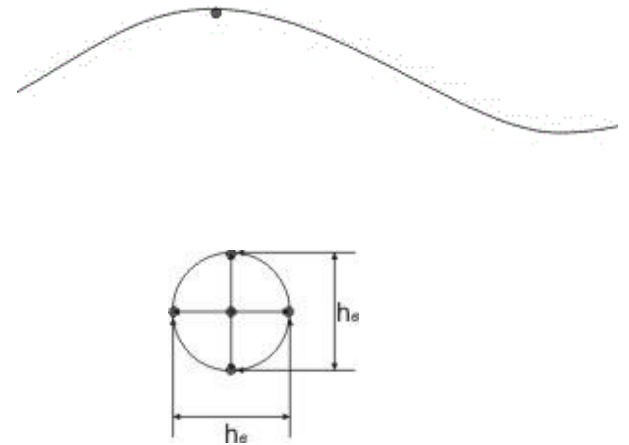
Из данного графика можно определить предельную скорость буксировки и тягу на гаке при любой заданной скорости.

# Перемещение судна под воздействием волн

Орбитальное движение частиц воды представляет собой движение по окружности.

Любое тело, находящееся на поверхности, также совершает орбитальное движение вместе с частицами воды.

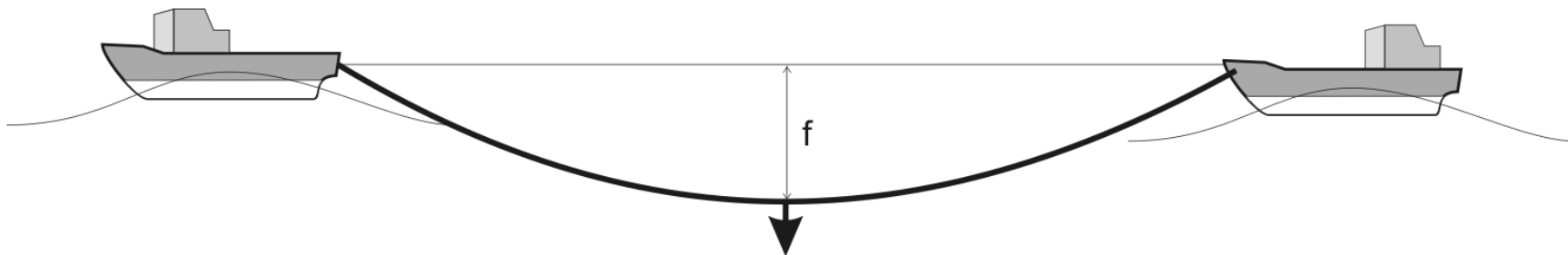
Максимальное смещение тела относительно среднего положения не может превышать половины высоты волны.



# Игра буксирного троса

Каждое из судов может смещаться относительно среднего положения не более чем на половину высоты волны.

Наибольшее расхождение между судами происходит, когда их орбитальное движение окажется в противофазе, и может достигать величины, равной высоте волны.

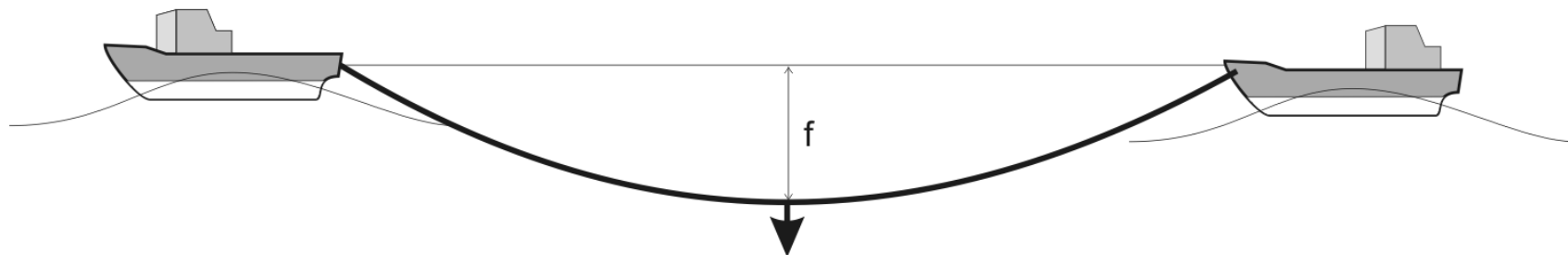


*В общем случае гибкая связь, концы которой закреплены, имеет форму провисания, описываемую уравнением «цепной линии»:*

$$y = a * \operatorname{ch}(x/a)$$

*Кривизна цепной линии определяется соотношением горизонтальной силы, растягивающей точки крепления, и вертикальной силы, зависящей от массы погонного метра линии.*

# Игра буксирного троса



При расхождении судов натяжение в буксирной линии увеличивается, что приводит к ее спрямлению и растяжению. При ослаблении натяжения буксирная линия прогибается и стягивается.

*Спрявление и прогибание буксирной линии при изменении натяжения, обеспеченное весом буксирной линии и позволяющее расходиться судам на волнении, называется **“весовой игрой”** буксирной линии.*

*Упругое удлинение и сокращение буксирной линии при изменении натяжения, позволяющее судам расходиться на волнении, называется **“упругой игрой”** буксирной линии.*

## Особенности задачи

Поскольку в процессе буксировки участвуют два судна, то к буксирной линии предъявляются два требования:

1. буксирная линия должна быть достаточно прочной, чтобы выдержать тяговую нагрузку;
2. буксирная линия должна амортизировать расхождение судов на волнении за счет весовой или упругой игры.

# Виды буксирной линии

Буксирная линия подбирается в зависимости от многих факторов: особенности буксируемого объекта, погодные условия и материальные возможности выбора.

В зависимости от ситуации буксирные линии бывают однородные и неоднородные (составные).

## Однородные буксирные линии

Однородными называются такие буксирные линии, которые выполнены из материала, имеющего одни и те же технические характеристики: разрывная прочность, линейная плотность, площадь сечения, модуль упругости.

*Как правило, однородная буксирная линия представляет собой либо стальной трос, либо синтетический канат, либо якорную цепь буксируемого судна. Рыболовные траулеры часто применяют для буксировки ваера тралов.*

В случае, когда для проведения буксировки используется стальной трос или якорная цепь, тогда такая буксирная линия называется “*тяжелой*”, поскольку расхождение судов обеспечивается весовой игрой линии.

Если же используется синтетический канат, то такая линия называется “*легкой*”, обеспечивающей расхождение судов за счет упругой игры.



# Виды буксирной линии

## Составные буксирные линии

Составные буксирные линии применяются в аварийных ситуациях, когда нет специализированного судна-буксировщика, или нет возможности подобрать однородную буксирную линию.

Составные буксирные линии состоят, как правило, из двух, реже из трех частей, так как каждое соединение понижает общую прочность.

В состав такой буксирной линии обычно входит штатный буксир одного из судов и участок якорной цепи буксируемого судна или связка из швартовых канатов. Кроме того, возможен вариант, когда буксирная линия состоит из штатных буксиров обоих судов.

*Согласно Правилам Регистра каждое судно должно иметь буксирный трос (исключение составляют суда длиной более 180 м). Длина и разрывная прочность штатного буксира оговариваются этими же Правилами и зависят от “характеристики снабжения”  $N_c$ .*

# Крепление буксирной линии

Крепление на буксируемом судне:

## 1. за одну или две якорной цепи;

Необходимо отклепать якорь (или якоря) от якорной цепи (при буксировке на небольшое расстояние буксирный трос можно крепить за скобу якоря без отклёпывания).

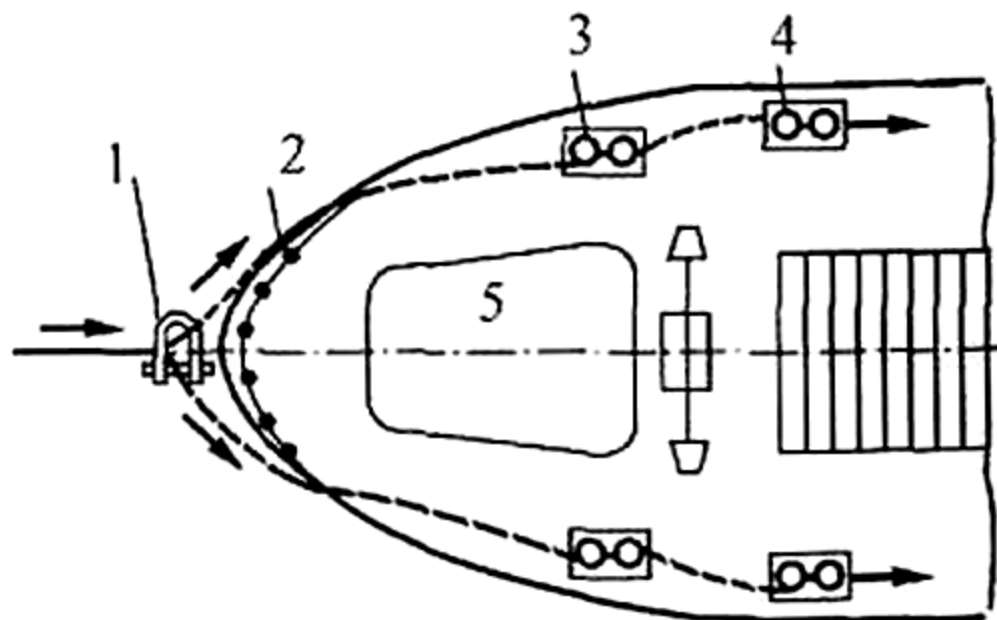
*Достоинства способа:* якорные цепи перетираются не так быстро как тросы и имеется возможность легко регулировать длину буксира при помощи брашпиля.

## 2. с заводкой браги.

Брага – стальной трос, обнесённый вокруг прочных судовых конструкций (надстройка, рубка, комингс грузового люка трюма, битенги).

Крепление на буксировщике производится с помощью браги.

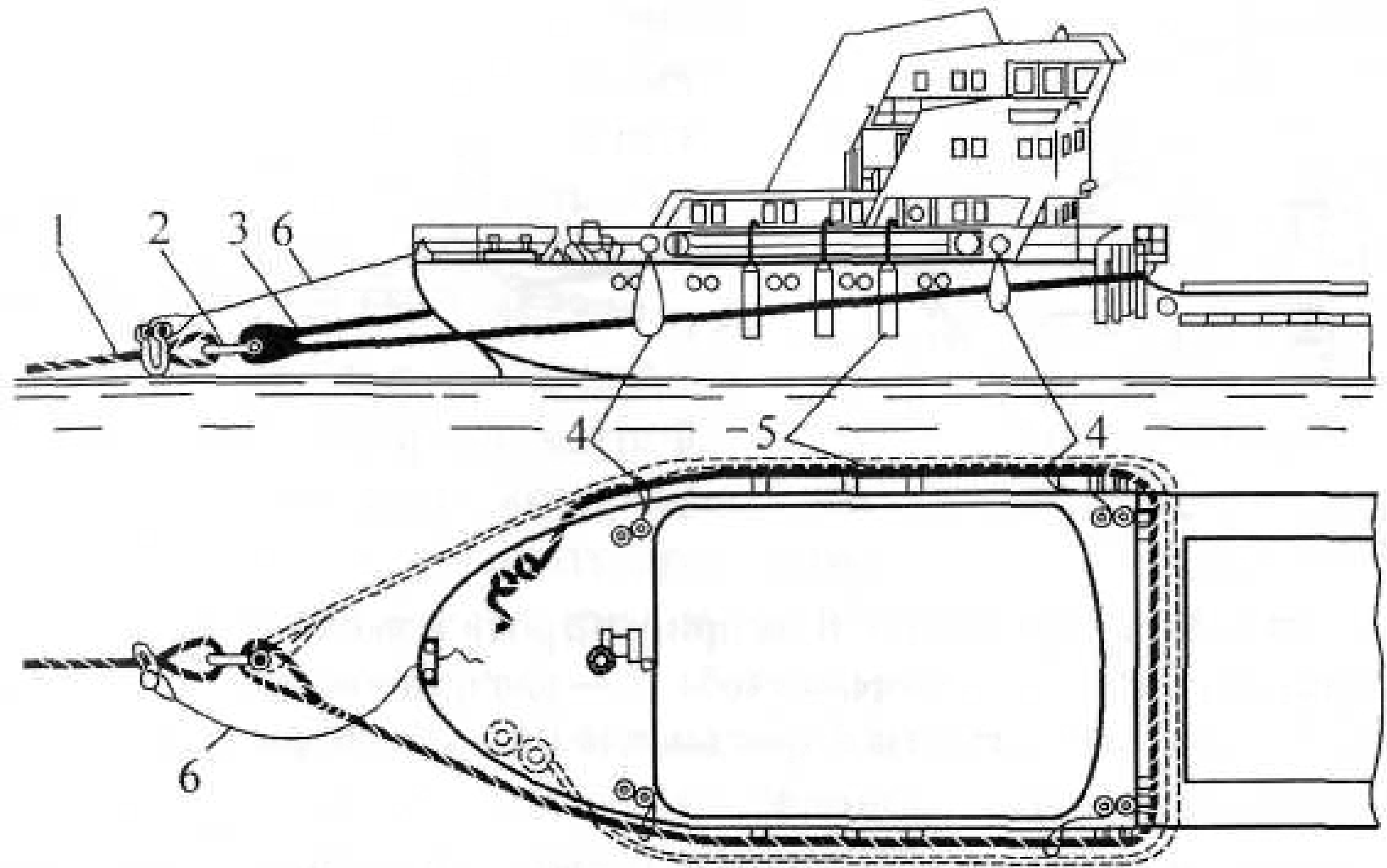
# Крепление буксирной линии



**Рис. 9.10.** Крепление буксирного троса на кнехтах:

1 — якорная скоба; 2 — буксирный трос; 3 — крепление на первом кнехте; 4 — крепление на втором кнехте; 5 — кормовая рубка

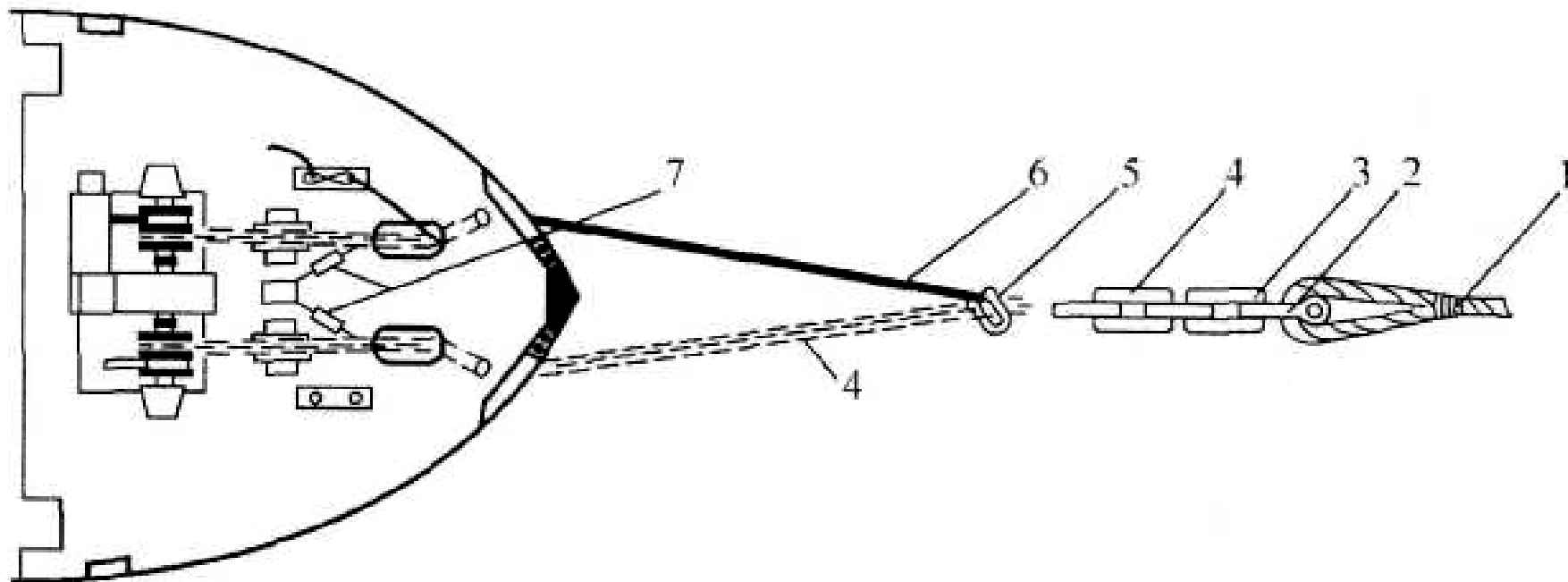
# Крепление буксирной линии



**Рис. 9.11.** Крепление браги за полуют:

- 1 — буксирный трос; 2 — якорная скоба; 3 — концы браги с огонами;  
4 — серьги; 5 — кранцы; 6 — проводник со скобой

# Крепление буксирной линии



**Рис. 9.12.** Крепление буксирного троса к якорной цепи:

- 1 — буксирный трос; 2 — якорная скоба; 3 — удлиненное звено; 4 — якорная цепь; 5 — скоба; 6 — стальной трос (свистов); 7 — стопоры якорной цепи

# Крепление буксирной линии

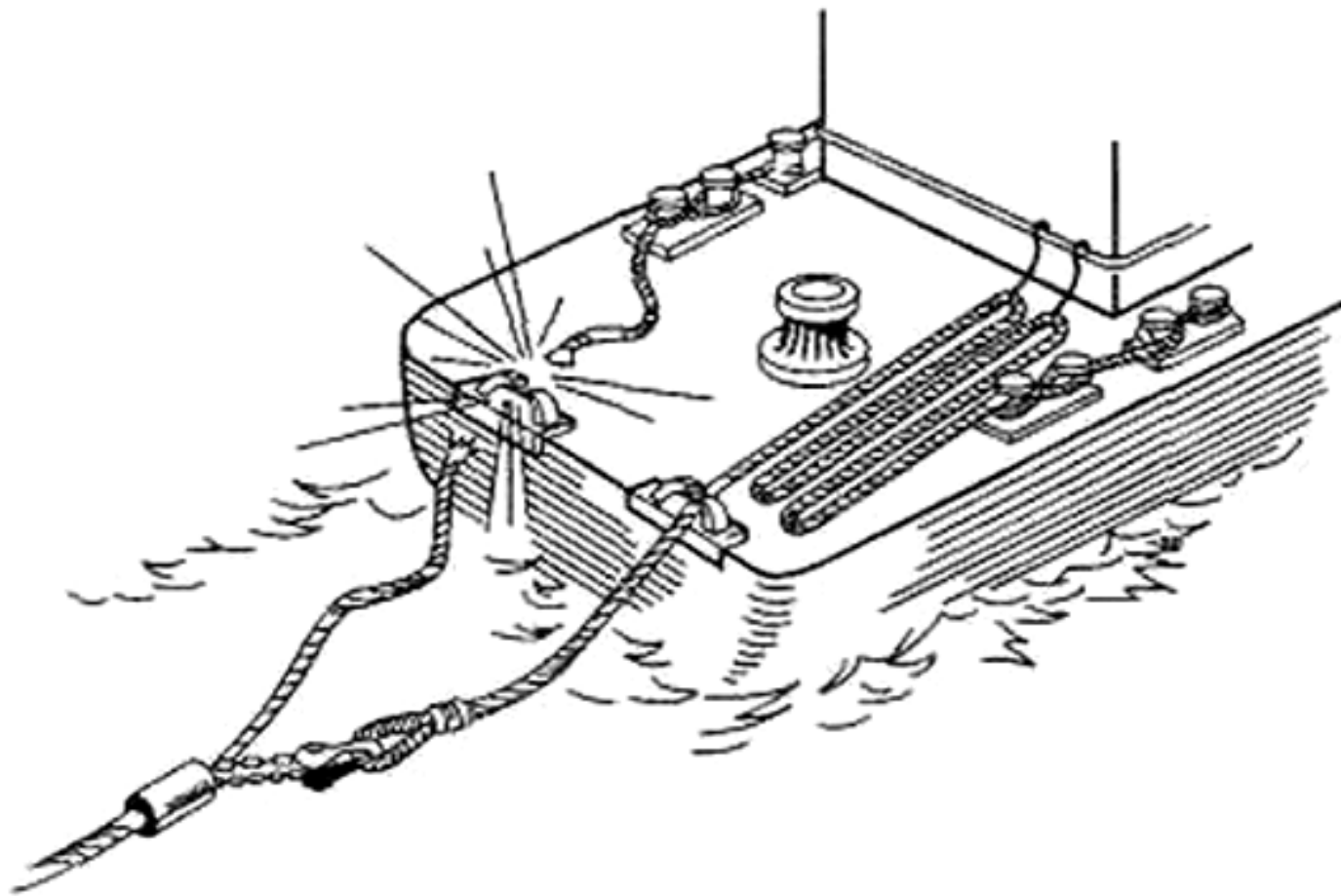


Рис. 9.13. Основной и страховочный буксирные тросы

# Особенности управления судами при буксировке

Управляемость буксируемого судна существенно ухудшается, т.к. винт не работает и не набрасывает поток на перо руля.

Буксируемое судно обладает повышенной рыскливостью, которая увеличивается с ростом скорости буксировки. Особенно сильное рыскание наблюдается при креплении троса за одну якорь-цепь.

Для уменьшения рыскания можно застопорить винт буксируемого судна. Большое тормозящее действие застопоренного винта (примерно в 4 раза больше, чем винта свободно вращающегося) существенно улучшает его устойчивость на курсе.

Управляемость буксировщика также существенно ухудшается.

Зарыскивания буксируемого судна выводят направление силы тяги на гаке с направления силы упора винта, что вызывает возникновение отклоняющего момента.

# Особенности управления судами при буксировке

Важным элементом при управлении судами во время буксировки является **избежание резких рывков** в буксирной линии:

- В начале движения, когда буксирный канат начинает обтягиваться, следует соблюдать особую осторожность.
- На прямых курсах буксируемое судно должно следовать в кильватерной струе буксировщика, а во время поворотов держаться внешней кромки кильватерной струи.
- Буксировщику следует избегать резких поворотов. Повороты необходимо производить плавно при небольших углах перекладки руля.