

Плавание на мелководье и в узкости

Введение.

Плавание на мелководье является одним из наиболее сложных условий, в которых оказывается судно в процессе эксплуатации. И сложность ситуации заключается не только в том, что малый запас воды под килем в данных условиях представляет собой реальную навигационную опасность, но и в том, что поведение судна на мелководье существенно отличается от поведения на глубокой воде. К основным отличительным особенностям поведения судна на мелководье можно отнести ухудшение управляемости, увеличение тормозного пути, дополнительное проседание с изменением посадки и падение скорости при тех же энергетических затратах. Еще более сложным управление судном становится при плавании на мелководье с ограниченной акваторией (проливы, каналы), где на поведение судна влияют как берега, так и другие суда. Незнание или пренебрежение особенностями поведения судна на мелководье нередко приводит к аварии.

1. Влияние мелководья на движущееся судно

Понятие “мелководье” относительно. Влияние мелководья на поведение судна зависит не только от глубины моря, но и от габаритов судна и его скорости. Существуют различные эмпирические формулы для определения глубины, с которой начинает сказываться мелководье. Согласно одной из формул [1] влияние мелководья на поведение судна наблюдается на глубинах:

$$H_{zn} < 4d + \frac{3V_c^2}{g} \quad (1)$$

где H_{zn} - глубина, м;

d - средняя осадка судна, м;

V_c - скорость судна, м/с;

g - ускорение свободного падения, 9.81 м/с^2 .

Другим критерием оценки влияния мелководья, связанным с изменением картины волнообразования, является “число Фруда”

$$Fr_H = \frac{V_c}{g * H_{зл}}$$

по глубине:

Согласно этому критерию ошутимое влияние мелководья начинает проявляться при $Fr_H > 0.4 - 0.5$.

1.1. Скоростное проседание

Термин “**скоростное проседание**” обозначает разность между глубинами под килем движущегося судна и судна, не имеющего хода относительно воды. Причиной скоростного проседания судна является следующий физический процесс, происходящий вокруг движущегося судна. При рассмотрении движения судна относительно воды можно в равной степени говорить о движении воды относительно судна. Таким образом, частицы воды, встречающие на своем пути корпус судна, вынуждены его обогнуть вдоль бортов и днища (рис.1).

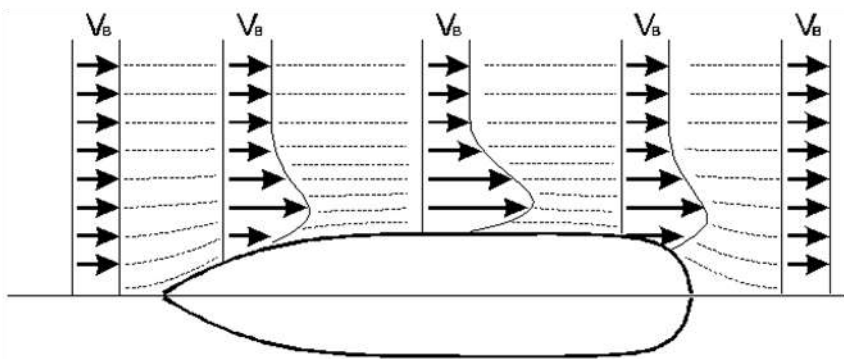


Рис. 1.

Поскольку вода обладает свойством неразрывности, то вытесняемые в стороны частицы воды, двигаясь по криволинейной траектории, за то же самое время должны пройти больший путь чем частицы, движущиеся по прямой. Следовательно, скорость частиц, обтекающих судно, выше скорости частиц, движущихся по прямой. Кроме того, эти частицы, находившиеся в состоянии покоя относительно грунта, образуют поток, движущийся относительно грунта в направлении, встречном направлению движения судна. Зависимость между скоростью потока жидкости и давлением жидкости на данном участке описывается уравнением Бернулли:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \text{const} \quad (3)$$

где P - давление жидкости на данном участке;

γ - плотность жидкости;

V - скорость потока.

Из выражения (3) видно, что если на каком либо участке скорость движения жидкости увеличивается, то для сохранения равенства должно понизиться давление. Следовательно, во время движения судна, чтобы выражение (3) сохранялось,

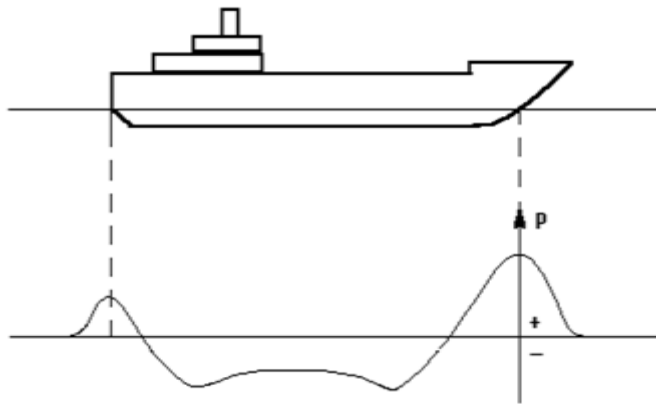


Рис. 2.

вокруг судна происходит падение давления, а, следовательно, и уровня воды (рис.2).

Это и является причиной скоростного проседания судна. Из выражения (3) видно, что чем больше скорость потока, движущегося вдоль корпуса судна, тем больше падает давление, и тем значительнее проседание судна. Поле вызванных скоростей не симметрично относительно миделя, следовательно, не симметрично и поле давления воды вдоль движущегося судна (рис.2). В носовой части формируется поле повышенного давления за счет лобового сопротивления формы корпуса, замедляющего набегающий поток. В кормовой части замедление потока, огибающего судно, а, следовательно, и повышение давления происходит за счет влияния “попутного потока”, движущегося вместе с судном. Однако, работа винта, создающего дополнительное разрежение воды у кормовой оконечности, существенно влияет на результирующую величину поля давлений. Участки повышенного давления в носовой и кормовой оконечностях имеют разную природу и разные величины, зависящие от многих параметров погруженной части корпуса. Несимметричность поля давления вдоль корпуса приводит к тому, что скоростное проседание происходит с изменением дифферента судна. Для большинства судов, имеющих обычную конфигурацию корпуса (без носового бульба), характерно проседание с дифферентом на корму. Скоростное проседание с дифферентом на нос характерно для крупнотоннажных судов. Результаты натурных испытаний показывают, что у судов с коэффициентом общей полноты $C_{\sigma} > 0.8$ проседание носовой оконечностью больше, чем кормовой. При выходе судна на мелководье скоростное проседание увеличивается в сравнении с проседанием на глубокой воде. Причин тому несколько. Одной из причин является меняющаяся картина волнообразования (рис.3).

В общем случае движущееся судно образует две системы волн: **поперечную**, распространяющуюся перпендикулярно диаметральной плоскости судна, и систему волн, образующую сектор (рис.3, а). Ширина волнового сектора зависит от значения F_r . На мелководье, по мере приближения скорости судна к критическому значению, угол между ДП судна и фронтом расходящихся волн увеличивается. При достижении скорости судна значения, близкого к критическому ($F_r \approx 1$), обе системы волн вырождаются в две поперечные волны - носовую и кормовую (рис.3, б)

Образовавшиеся поперечные волны имеют значительную

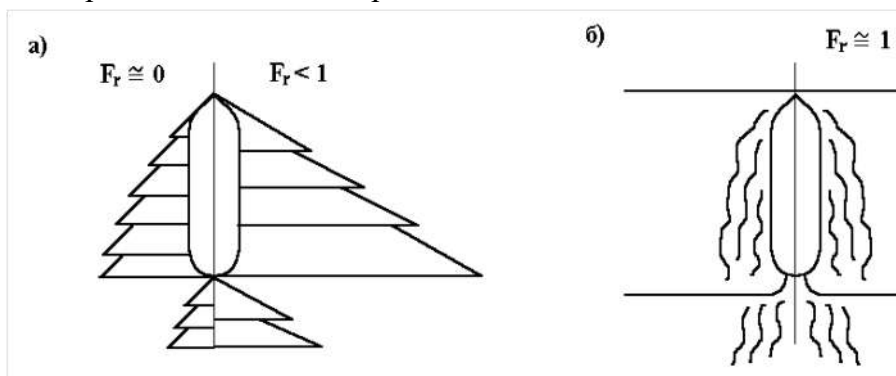


Рис. 3.

амплитуду. У судов с обычными обводами корпуса носовая волна располагается под носовой оконечностью, а кормовая волна - несколько позади кормовой оконечности. Это приводит к тому, что носовая оконечность всплывает на волне с увеличением дифферента на корму. Другой причиной дополнительного проседания судна на мелководье является малый запас воды под килем. Как уже говорилось, частицы воды, огибающие корпус, движутся с большей скоростью, образуя поле вызванных скоростей (встречный поток). Если поле вызванных скоростей достигает грунта, то там возникает пограничный слой, где силы трения притормаживают встречный поток воды (рис. 4).

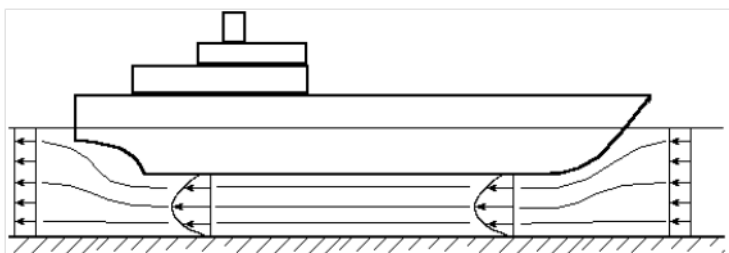


Рис. 4.

Но для того, чтобы то же количество воды успевало проходить под днищем, скорость потока увеличивается. А увеличение скорости потока под днищем приводит к дополнительному падению давления в этом районе, что и приводит к дополнительному проседанию корпуса. При движении судна на мелководье с ограниченной акваторией (в узкости) на поле вызванных скоростей оказывают влияние не только дно, но и стенки канала. В результате этого воздействия перепады поля давлений вокруг судна имеют большую амплитуду, чем в условиях неограниченной акватории. Дополнительное падение давления приводит к дополнительному проседанию. Четкой границы между мелководьем с неограниченной и ограниченной акваторией нет. Дополнительным параметром при оценке поведения судна в мелководном канале служит отношение

ω_k / ω_0 , где ω_k - площадь поперечного сечения канала, а ω_0 - площадь поперечного сечения погруженной части мидельшпангоута. Ощутимое влияние узкости на проседание начинает сказываться при $\omega_k / \omega_0 < 12$.

Для расчета скоростного проседания судна на мелководье существует целый ряд эмпирических формул, дающих порой существенно отличающиеся результаты. Рассмотрим лишь некоторые из этих формул.