

- выбор оптимальной скорости движения в зависимости от условий плавания;
- выбор скоростного режима при заданном моменте прибытия в пункт назначения;
- прогноз времени грузовой обработки;
- прогноз технологических операций в пункте грузовой обработки;
- расчет нормы загрузки в зависимости от условий плавания, уровня воды и характеристик груза и судна;
- выбор возможного следующего пункта назначения при фрахтовании на один или несколько рейсов и т.д.

Как отмечалось ранее, перечень расчетных данных должен постоянно дополняться в зависимости от возникающих задач. Полученные результаты диспетчер оценивает с точки зрения приоритетных на текущий момент времени критериев и принимает решение. При этом, выбранный вариант должен запоминаться и оцениваться с точки зрения ряда контрольных параметров, которые задаются в настройках системы.

Все расчеты и принятые решения должны оформляться выходными формами, которые должны соответствовать утвержденным типовым формам документов, а также содержать бланки, утвержденные внутри организации.

Одним из важнейших принципов автоматизированной системы является совместимость с другими программными продуктами посредством импорта и экспорта данных. Обеспечить функционирование данной возможности, можно используя прототипы вышеупомянутых программных продуктов.

При реализации идей автоматизации планирования работы флота с учетом описанных ранее особенностей необходимо разработать регламенты взаимодействия всех участников транспортного процесса, при этом необходимо учитывать не только интересы водного транспорта, но и особенности логистических схем доставки.

**М.Ю. Чурип**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ПОСАДКА СУДНА И ЕЁ УЧЕТ

В статье произведен краткий анализ методик расчета посадки судна. Ставится вопрос о необходимости исследования влияния посадки судна на его маневренные характеристики.

Современное судно является сложной технической системой, причем системой участвующей в движении. И поскольку необходимо управлять его движением, само судно в целом является управляемой системой, обладающей определенными характеристиками. В процессе эксплуатации судна его свойства меняются, так как зависят от состояния судна. Одной из характеристик, которые определяют свойства судна, является его осадка. Осадка судна величина переменная. В первую очередь это касается транспортных судов. Осадка зависит от количества судовых запасов на борту, количества принятого груза на борт судна. От распределения груза по трюмам зависит посадка судна, положение корпуса судна относительно поверхности воды (то есть имеет судно крен и дифферент). В практической деятельности судоводитель исходя из условий предстоящего перехода, вида и количества предложенного к перевозке груза составляет конкретный грузовой план. В соответствии с разработанным грузовым планом и производится погрузка судна. Тем самым судну изначально задаются определенные характеристики – осадка и посадка (средняя осадка на существующее количество судовых запасов и принятого груза и определенный дифферент для принятого к исполнению распределения груза по грузовым трюмам).

Причем наличие крена и дифферента ведет к увеличению осадки. [1] Увеличение осадки судна при крене определяется по приближенной формуле:

$$\Delta T_{\Theta} = 0.5B \sin \Theta . \quad (1)$$

Увеличение осадки при дифференте определяется по приближенной формуле:

$$\Delta T_{\Psi} = L \sin \Psi , \quad (2)$$

где  $B$  – ширина судна, м;

$L$  – удаление центра тяжести судна от погружаемого штевня, м.

Во время грузовых операций крен судна не должен превышать пяти градусов. [2]. В этом случае об осадке, крене и дифференте, согласно терминологии, можно говорить как о статических, рассматриваемых при отсутствии движения судна [3].

Известно, что судно, не имеющее груза (судно в балласте) руля слушается лучше, чем в загруженном состоянии, но обладает повышенной рыскливостью. В загруженном состоянии (осадка увеличилась) судно меньше реагирует на воздействие ветра и волнения, становится более устойчиво на курсе. Дифферент ухудшает обтекаемость корпуса судна, в целом снижает скорость и приводит к смещению точки приложения боковой гидродинамической силы на корпусе в нос или корму в зависимости от посадки судна.

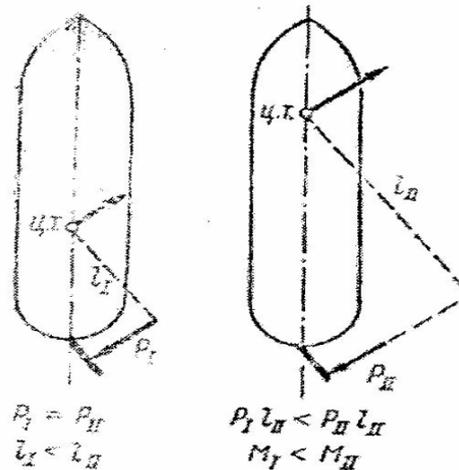


Рис.1. Влияние дифферента

Влияние этого смещения аналогично изменению диаметральной плоскости за счет изменения площади носового подзора или кормового дейдвуда. При дифференте на корму центр тяжести судна смещается к корме, плечо поворачивающего момента руля  $l_1$  и сам момент  $M_1 = P_1 l_1$  уменьшаются (рис. 1), поворотливость ухудшается, а устойчивость на курсе улучшается. При дифференте на нос, при равенстве «рулевых сил»  $P_1$  и  $P_2$ , плечо  $l_2$  и момент  $M_2 = P_2 l_2$  увеличиваются, поэтому поворотливость улучшается, а устойчивость движения ухудшается.

При следовании в штормовых условиях было отмечено, что судно с дифферентом на корму при встречном волнении легко уклоняется с курса. При дифференте на нос у судна повышается устойчивость на встречной волне. При небольшом дифференте на корму повышается эффективность действия движителей и у большинства судов увеличивается скорость хода. Но при дальнейшем увеличении дифферента наблюдается уменьшение скорости. Дифферент на нос из-за увеличения сопротивления воды дви-

жению, как правило, приводит к потере скорости переднего хода, хотя для судов с малой осадкой наблюдались случаи и увеличения скорости, причем значительного [4].

Кроме вышеизложенного (статические осадки судна, крен и дифферент) судоводителю в своей работе приходится постоянно сталкиваться с проявлением ходового дифферента. Причины изменения осадок в движении судна зависят от конструктивных особенностей судна и от условий на конкретном участке перехода. Наиболее существенное изменение посадки судна (просадки судна) наблюдается при следовании судна в условиях мелководья, в каналах, реках, ограниченных по глубине акваториях.

Вопросом о том, какую глубину можно считать неограниченной, а какую уже можно принимать за мелководье в начале XX века занимались английские исследователи. Это было связано с тем, что вновь построенные суда на обычной мерной миле глубиной 25 м не развивали запроецированных скоростей. Исследователи, занимавшиеся этим вопросом (Г. Ярроу, В. Мэррине, Г. Рота, А. Расмуссен и др.) пришли к выводу, что эта величина (неограниченная, глубокая вода) не абсолютная, а относительная и зависит от скорости движения судов, их размеров и осадки. Так, по Д. Тейлору [5], влияние глубины начинает сказываться при

$$h \leq 10T \frac{v}{\sqrt{L}}, \quad (3)$$

где  $h$  – глубина в футах;

$T$  – осадка в футах;

$v$  – скорость в узлах;

$L$  – длина судна в футах.

Г. Вейтбрехт [6] указывал, что глубину следует называть ограниченной, если она меньше двадцатикратной осадки, и замечает, что влияние ограниченности становится заметным лишь начиная с определенной скорости.

Вопросами приращения осадки при движении судна по мелководью занимались многие советские и российские исследователи (в том числе Г.Е. Павленко, В.Г. Павленко, В.В. Звонков, Г.И. Сухомел, А.Б. Карпов, П.Н. Шанчуров, Г.И. Ваганов, А.М. Полуниин и др.). Влияние мелководья на современные суда приобретает дополнительную актуальность. Это связано, в первую очередь, с постоянной тенденцией увеличения габаритов современных судов, как внутреннего плавания, так и морских судов.

В настоящее время существуют различные эмпирические формулы для определения глубины, с которой начинает сказываться мелководье. Согласно одной из формул [7]

$$H_{\text{аэ}} \leq 4T_{\text{н\delta}} + \frac{3V_c}{g}, \quad (4)$$

где  $H_{\text{аэ}}$  – глубина, м;

$T_{\text{н\delta}}$  – средняя осадка судна, м;

$V_c$  – скорость судна, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>.

В тоже время Соларев Н.Ф. [8] отмечает, что для речных судов влияние дна водоема на характеристики движения судов следует учитывать при  $H/T \leq 4$ .

Другим критерием оценки влияния мелководья, связанным с изменением картины волнообразования, является «число Фруда» по глубине  $Fr_H = \frac{v}{\sqrt{gH}}$ , зависящее от глубины акватории  $H$  и скорости перемещения источника волнообразования (судна)

по его поверхности. Согласно этому критерию ощутимое влияние мелководья начинает проявляться при  $Fr_H > 0,4 \div 0,5$  [7]. В своих работах А.Д. Гофман [9] указывает, что при движении судов со скоростями, соответствующими  $Fr_H < 0,6$  влиянием изменения характера волнообразования на гидродинамические силы и моменты, действующие на корпус судна, можно пренебречь. В большинстве случаев движение транспортных судов по внутренним водным путям соответствует именно такому типу, поэтому изменение их управляемости может быть в основном связано с одним параметром  $H/T$ .

Аналитический метод расчета посадки судна на ходу в условиях глубокой воды был разработан Ю.Н. Поповым. Удовлетворительное соответствие результатов теоретического расчета, основанного на использовании линейной теории волн, с экспериментом получается в том случае, если изменение средней осадки и угла дифферента рассматривается как сумма двух составляющих, одна из которых вызывается действием гидродинамической вертикальной силы или соответственно дифференцирующего момента, а другая – перераспределением погруженного объема из-за волнообразования. В этом случае:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \Delta T_{\bar{A}} + \Delta T_B \\ \Psi &= \Delta \Psi_{\bar{A}} + \Delta \Psi_B \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\Delta T$  – изменение средней осадки судна на ходу, м;

$\Psi$  – Угол дифферента судна на ходу, град;

$\Delta T_{\bar{A}}$  – изменение средней осадки судна от действия гидродинамической вертикальной силы, м;

$\Delta \Psi_{\bar{A}}$  – изменения угла дифферента под действием гидродинамического дифференцирующего момента, град;

$\Delta T_B, \Delta \Psi_B$  – соответственно изменение средней осадки и угла дифферента из-за волнообразования.

Однако, расчеты просадки судов на мелководье, если брать за основу выражение (5), чрезвычайно трудоемки.[10]

В руководящем документе, регламентирующим штурманскую службу на судах «Наставление по штурманской службе» [1] в приложении 3 приведены формулы института гидрологии и гидротехники АН СССР для среднетоннажных судов (формулы Г. И. Сухомела) для расчета увеличения осадки судна при движении на мелководье:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{(k^2 - 1)}{2g} \sqrt{\frac{T}{H}} V_c^2, \text{ при } H \geq 1,4T \\ \Delta T &= \frac{(k^2 - 1)}{2g} V_c^2, \text{ при } H < 1,4T \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\Delta T$  – просадка судна на мелководье, м;

$T$  – осадка судна, м;

$H$  – глубина на мелководье, м;

$k$  – коэффициент, выбираемый в зависимости от отношения L/B.

L/B	4	5	6	7	8	9	12
k	1,32	1,27	1,23	1,19	1,17	1,15	1,10

Формулы Г.И. Сухомела были преобразованы А. П. Ковалевым. По формулам Ковалева [11] общая просадка судна считается как сумма скоростного проседания и

дополнительного проседания на мелководье. Величина дополнительного проседания на мелководье считается с использованием коэффициента, зависящего от соотношения площадей поперечного сечения канала и подводной части мидель-шпангоута.

Для обеспечения безопасности плавания судна на мелководье необходимо точное определение требуемого запаса воды под килем судна для каждого конкретного случая проводки. Согласно требований Международной Морской Организации, изложенных в Резолюции. А 893 (21) «Руководство по планированию рейса» от 25 ноября 1999 г. [12], перед выходом судна в рейс должна быть проведена штурманская подготовка к предстоящему рейсу. До начала каждого рейса капитан судна обязан обеспечить планирование предполагаемого перехода и проработку этого предполагаемого пути в полном объеме от причала до причала в порту назначения. Обеспечение безопасного и эффективного судовождения во время предполагаемого рейса должно включать учет просадки судна на ходу, а также учет требуемой минимальной глубины под килем судна на мелководье.

Поле скоростей потока не симметрично относительно миделя, следовательно, не симметрично и поле давления воды вдоль движущегося судна. Участки повышенного давления зависят от многих параметров погруженной части корпуса и имеют разную природу и, как правило, разные величины на носовых и кормовых оконечностях судна. Несимметричность давления вдоль корпуса приводит к тому, что скоростное проседание происходит с изменением дифферента. Для большинства судов (без носового бульба) присуще проседание с дифферентом на корму. Для речных судов и толкаемых составов (по В. Г. Павленко) приращение осадки судна по корме на ходу определяется [8]:

$$\Delta T = \frac{aV^2}{2g}. \quad (7)$$

Здесь  $a$  – числовой коэффициент, причем:  
для речных самоходных судов при водоизмещении  $V > 2000 \text{ м}^3$ .

$$a = 0,1 + 0,4 \frac{T}{H_{\dot{y}}} \quad (8)$$

для крупнотоннажных грузовых судов и толкаемых составов

$$a = 0,04 \left[ 16,5 - \frac{L}{B} \right] \sqrt{\frac{T}{H_{\dot{y}}}}. \quad (9)$$

Но проседание может проявляться и с деферентом на нос. Так скоростное проседание с дифферентом на нос характерно для крупнотоннажных судов. Результаты натурных испытаний показывают, что у судов с коэффициентом общей полноты  $C_{\hat{a}} \geq 0,8$  проседание носовой оконечностью больше, чем кормовой. В тоже время в «Brown's Nautical Almanac» [13] приводится другая информация:

для судов, имеющих  $C_{\hat{a}} > 0,70$ , дифферент будет проявляться на нос,

для судов с  $C_{\hat{a}} < 0,70$  – дифферент на корму,

для судов с  $C_{\hat{a}} = 0,70$  – просадка судна будет проявляться без дополнительного дифферента.

Большую известность среди судоводителей получил метод Ремиша, позволяющий определять скоростное проседание при плавании на мелководье. [14] Этот метод учитывает основные параметры судна и может быть применен для судов с различными размерами и полнотой обводов. Приращение осадки на мелководье рассчитывается отдельно для носа и кормы по формуле (м):

$$\Delta T = 0,55 C_V C_{\delta} (H_{\text{аэ}} - T) (H_{\text{аэ}} / T - 0,4)^{-2} \quad (10)$$

где  $T$  – осадка носом или кормой соответственно, м ;

$C_{\delta}$  – коэффициент, зависящий от формы корпуса ;

$C_V$  – коэффициент, зависящий от скорости хода, рассчитываемый по формуле:

$$C_V = 8 \left( \frac{V}{V_{\text{кр}}} \right)^2 \left[ \left( \frac{V}{V_{\text{кр}}} - 0,5 \right)^4 + 0,0625 \right], \quad (11)$$

где  $V$  – скорость судна, м/с ;

$V_{\text{кр}}$  – критическая скорость для мелководья, м/с, определяемая из выражения:

$$V_{\text{эδ}} = 1,28 H_{\text{аэ}}^{0,625} \left( \frac{L}{TB} \right). \quad (12)$$

Коэффициент  $C_{\delta}$  определяется отдельно для носа и кормы из следующих выражений:

$$C_{\delta_{\text{н}}} = 1,0 ; C_{\delta_{\text{к}}} = \left( 90 \tilde{N}_A B^2 \right) / L^2. \quad (13)$$

Здесь  $C_{\text{в}}$  – коэффициент общей полноты судна.

Очевидно, что при  $C_{\delta_{\text{н}}} > 1,0$  проседание носа больше, чем кормой, а при  $C_{\delta_{\text{к}}} < 1,0$  – больше проседание кормы, чем носа.

Особо необходимо отметить суда, имеющие бульб. Как показывает практика суда такой конструкции при следовании в стесненных условиях на мелководье имеют просадку с дифферентом на нос. Существуют различные методики расчета просадок судов оборудованных бульбом и все эти расчеты по различным методикам (по формулам Анкудинова, по методу доктора Баррасса, с применением графического способа по номограммам Национальной физической лаборатории Великобритании) дают сходные результаты. Разница в просадках носом и кормой у судов, оборудованных носовым бульбом, может достигать значительной величины в зависимости от условий, при которых совершается переход.

Все вышеизложенное относится и к судам смешанного «река-море» плавания. В эксплуатации этих судов был накоплен богатый опыт работы как чисто в морских районах и на внутренних водных путях так и на устьевых участках рек, впадающих в моря, где исходя из специфических условий этих районов суда смешанного «река-море» плавания зарекомендовали себя наиболее успешно. Условия работы флота в устьях рек, впадающих в моря имеют свои особенности. Одной из основных особенностей устьевых участков являются малые глубины на подходных фарватерах. К особенностям относятся также наличие сгонных и нагонных течений (р.Дон), приливов и отливов (р. Северная Двина), необходимость движения по подходным каналам (Волго-Каспийский канал). Устьевые участки рек подвержены значительным колебаниям уровней воды из-за сильных сгонно-нагонных ветров, вследствие чего происходит изменение глубин на судовом ходу, а иногда и изменение направления течения. При нагонном ветре глубины на судовом ходу увеличиваются (до 2 метров и более), скорость течения уменьшается и иногда направление его становится обратным. При сгонном ветре глубины на судовом ходу значительно уменьшаются, скорость течения увеличивается и условия работы флота значительно усложняются. Колебания уровней воды особо сильно проявляются в осеннее-зимний периоды навигации. Простой судов в ожидании проходных глубин на подходных фарватерах являются обычной ситуацией в устьевых портах. Работа чисто морских судов в этих условиях значительно за-

трудняется и связана с большими потерями при погрузке (вынуждены грузиться только на проходные осадки).

Исходя из этих специфических условий в устьевых портах (в первую очередь порт Ростов на Дону, порт Азов далее порт Таганрог и порт Ейск) с целью максимального использования грузоподъемности и грузовместимости суда грузятся с минимальным дифферентом на корму или на ровный киль. Такая загрузка позволяет взять максимально возможное количество груза и уменьшить простои судов в портах в ожидании проходных глубин на подходных лимитирующих фарватерах. Кроме этого при переходе судна в воду другой плотности (заход с моря в реку или наоборот) его осадка изменяется. Величина изменения осадки зависит от соотношения плотностей воды, так и от конструктивных особенностей судна.

Поэтому вопросы точного определения посадки судна в этих условиях (как результат сложения статических осадок судна и дифферента и приобретенных при движении ходового дифферента) требуют дополнительного исследования. Из вышесказанного следует, что требуется также детальное изучение влияния посадки (наличие дифферента) судна на его, в первую очередь, маневренные качества. Количественная оценка маневренности судна как управляемой системы должна задаваться численными критериями, характеризующими как его устойчивость, так и поворотливость. Эта оценка должна выполняться с учетом конструктивных особенностей конкретных проектов судов смешанного «река-море» для различных условий движения и различных значений дифферента, включая и посадку судна с дифферентом на нос, как абсолютно не исключаемую в этих условиях. Наличие точной информации по этому вопросу позволит повысить эффективность работы судов смешанного «река-море» плавания за счет повышения количества перевозимого груза и снизить аварийность судов (включая посадки на мель) в сложных навигационных условиях в устьевых участках рек.

#### Список литературы:

- [1] Наставление по штурманской службе на судах речного флота, часть III. – Л.: Транспорт, 1987. – 147 с.
- [2] Общие правила плавания и стоянки судов в морских портах Российской Федерации и на подходах к ним: офиц. текст. – М.: ТрансЛит, 2009. – 39 с.
- [3] Першиц Р.Я. Управляемость и управление судном Першиц Р.Я. Л: Судостроение 1983.– 272с.
- [4] Клементьев А.Н. Основы управления судном Уч. пос. для студентов очного и заочного обучения Клементьев А.Н. Н.Новгород ФБОУ ВПО «ВГАВТ» 2011. – 142 с.
- [5] Taylor D.W. The Speed and Power of Ships, Washington, 1933.
- [6] Н. М. Weitbrecht, Uber Schiffswiderstand auf beschränkter Wassertiefe, J.S.T.G., 22 Band, Berlin, 1921.
- [7] Щетинина А.И. Управление судном и его техническая эксплуатация / Под ред. А.И.Щетининой. 3-е изд., перераб. и доп. М.:Транспорт,1983. – 656 с.
- [8] Соларев Н.Ф. Управление судами и составами: учебник для вузов / Н.Ф. Соларев, В. И. Белоглазов, В. А. Тронин – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 296 с.
- [9] Гофман А.Д. Теория и расчет поворотливости судов внутреннего плавания / А. Д. Гофман. – Л., «Судостроение», 1971. – 256 с..
- [10] Снопков В.И. Управление судном. учеб. Для вузов. – 3-е изд. – СПб. ; АНО НПО «Профессионал», 2004. – 536 с.
- [11] Ковалев А.П. К вопросу о проседании судна на мелководье и в канале / Морской транспорт. Сер. Безопасность мореплавания. 1984. Вып. 5(165). – 22 с.
- [12] Резолюция ИМО А.893 (21) «Руководство по планированию рейса» от 25 ноября 1999 года.
- [13] Brown's Nautical Almanac, Brown, Son and Ferguson. Ltd, Glasgow, G41 2SD, 2011.
- [14] Справочник капитана дальнего плавания / Под ред. Г.Г. Ермолаева. – М.: Транспорт, 1988. – 211 с.