

Методика оценки движения судов на мелководных участках

Techniques for the assessment of ships in shallow areas

Igor Arefyev

Морская Академия, Maritime University of Szczecin
70-507 Szczecin, ul. Henryka Pobożnego 11, e-mail: ariefiew@am.szczecin.pl

Key words: transport, shallow waters, the ship, the environment, the evaluation

Abstract

A method for assessing the impact of low water in the fairway on the movement of ships in the rivers and canals is shown in the work. The growth speed of the ship breaks down the river (channel), the territory of the area. It is important that when the motion is regular. This paper is an analysis of this problem.

Введение

При движении на мелководье с установленной эксплуатационной скоростью, когда гарантированная глубина судового хода ограничена, за судном образуется «натяжная волна». Корпус судна реактивно «тянет» за собой воду. Появляется эффект «засасывания воды» вслед за корпусом, обнажаются берега реки или канала на величину до 0,5 от осадки судна. В результате возникает гидравлический удар по берегам обратной волной, высота которой может достигать величины осадки судна. С другой стороны, динамическое образование наносов на перекатах и в узкостях резко снижает скорость движения: до 40% на перекатах и до 25% на зарегулированных участках пути [1]. При этом в тяжёлых условиях оказывается судовая энергетическая установка, когда стремление сохранить заданную эксплуатационную скорость, как кажется, требует сохранения и даже увеличения частоты вращения вала движетельного комплекса. Реально же оказывается, что желание сохранить заданную скорость на мелководье за счёт увеличения оборотов вала только приводит к перерасходу топлива. При этом скорость движения судна продолжает падать, а реактивная струя от винта размывает дно.

Необходимость обеспечить движение грузового судна при постоянной эксплуатационной скорости в узкостях требует жёстких гарантий по параметрам судового хода и организации соответствующего скоростного режима. Таким образом, возникает важная экологическая и эксплуатационная задача водного пути: обеспечить такие условия плавания и режимы движения, которые при минимуме потерь топлива, скорости и гидрологического состояния фарватера допускали бы максимальную скорость перемещения судна.

Содержание

Организация движения по внутренним водным путям в современных географических и гидрологических условиях в большинстве случаев сталкивается с принципиально важной проблемой – наличием гарантированных глубин судового хода. Сложившийся к началу XXI века водно-экологический кризис не миновал и водные пути Европы [2]. Обеспечить сезонные гарантированные параметры судового хода (половодье, межень) становится всё труднее. Планирование работы технических средств обеспечения судопропуска становится всё труднее из-за необходимости экономии стока

воды в реках и морских каналах (Панама, Суэц) при постоянно снижающемся объёме её поступления на судоходные участки пути. Тем более сложно, а часто и не возможно прогнозировать динамику изменения уровня воды в реках и каналах в оперативном режиме: декада, неделя, сутки.

Решение задачи лежит в определении системы показателей, сочетающей предельные возможности водного пути и технических характеристик судов, экономически целесообразных для организации перевозок в данном регионе, ориентируясь на известные имперические зависимости. В практике проектирования судов принято вести гидродинамические расчёты их корпусов на основе показателя G – свободной или «лёгкой» воды. При этом

$$G = \frac{\Delta h}{h} = 15 \quad (1)$$

где:

Δh – допустимый запас воды под килем судна,

h – осадка судна при полной загрузке.

Очевидно, что в условиях мелководья такой показатель абсолютно не приемлем. Для минимального уровня воды под килем Δh необходимо найти новые соотношения, связывающие его со скоростью движения судна на мелководье, мощностью судовой силовой установки, частотой оборотов гребного винта (винтовые характеристики), экологическими показателями региона реки (канала) и экономией топлива.

Для решения этой системной задачи прежде всего следует определить характер изменения скорости движения судна v в зависимости от номинальной частоты вращения вала главного двигателя N_{eh} при сохранении его эффективной мощности N_x [3]. Сопротивление воды на мелкой воде создаёт реактивную нагрузку на движетельный комплекс, влияющую на механизм взаимодействия комплекса «вал-двигатель». Принято считать: если частота вращения вала главного двигателя в точке пересечения винтовой и эксплуатационной внешней характеристик больше номинальной, то винт «лёгкий», а если меньше, то винт «тяжёлый». Экспериментальным путём находится коэффициент A «тяжести» винта для каждого типа судна, допущенного к плаванию на данном пути (части пути):

$$A = \frac{N_x}{N_{eh}} \quad (2)$$

где:

N_x – мощность двигателя при номинальной частоте вращения вала.

Для «тяжёлых» винтов $A > 1$, для «лёгких» $A < 1$.

Путём не сложных преобразований, основанных на методах пропульсивности движения объекта в пресной воде получим [2, 4]:

$$n = 3 \sqrt{\frac{N_x}{N_{eh}}} \quad (3)$$

Вычислив по формуле (3) ряд режимов n , получим конечное множество точек для построения винтовых характеристик.

Движение на мелководье всегда увеличивает сопротивление воды ходу судна. Опыт показал, что это сопротивление может возрасти в 2,8–4 раза и зависит от внешних показателей. Оно определяется статистически для каждого участка пути по данным скорости встречного или попутного потока воды и габаритов судового хода [5]. Сопротивление движению в простейшем случае вычислим из выражения:

$$S = \frac{v}{\sqrt{gH}} \quad (4)$$

где:

v – технологическая скорость движения судна [м/с],

g – ускорение свободного падения,

H – глубина судового пути [м].

В итоге, получена модель выбора типа судна, его габаритов и параметров для гарантированной организации грузового движения по конкретному водному пути или его участку (каналу) в условиях мелководья. В таблице 1 приведены исходные данные для типовых судов внутреннего водного плавания, необходимые для примеров и иллюстрации предлагаемой методики.

Согласно условиям Плавания и Регистра на внутренних водных путях в исключительных случаях допустимо плавание на малых реках грузовых судов и танкеров грузоподъёмностью до 800 тонн при $\Delta h = 0,1$ м а при грузоподъёмности от 800 до 5000 тонн – при $\Delta h = 0,2$ м. Этот предельный случай весьма интересен с точки зрения определения сопротивления воды движению судна, поскольку с экологической точки зрения является абсолютно не реальным и относится к разряду аварийных [2].

Сопротивление воды движению судна находится как:

Таблица 1

Грузовые суда								
N	Проект	Объём груза T	Мощность M		Осадка h [м]		Скорость v [км/час]	
			Л.с.	кВт	с грузом	порожний	с грузом	порожний
1	Открытый 507	5000 тонн	2000	1472	3,5	0,79	21,0	23,0
2	Люковый 781	2000 тонн	1320	972	3,34	1,3	21,0	23,7
3	Закрытый 573	1000тонн	1100	810	2,25	1,33	16,5	18,0
Танкеры								
1	Палубный 507	4800 тонн	2000	1472	3,6	1,08	20,0	21,3
2	Палубный 1754А	1000 тонн	800	589	2,25	0,63	18,0	20,0
3	С баками 866МЭ	600 тонн	450	331	1,94	0,66	16,6	19,3

Источник: собственный анализ

Таблица 2. Определение S – сопротивления воды движению судна на мелководье при минимальных $\Delta h = 0,2$

N	Проект	Скорость V [м/с]		Осадка судна h [м]		Глубина пути H [м]		S		
		с грузом	порожний	с грузом	порожний	с грузом	порожний	с грузом	порожний	Δs
1	507	5,8	6,38	3,5	0,79	3,7	0,99	0,44	1,0	0,56
2	781	5,8	6,58	3,34	1,3	3,54	1,5	0,44	0,8	0,36
3	573	4,58	5,0	2,25	1,33	2,26	1,43	0,44	0,6	0,16
4	507	5,5	5,9	3,6	1,08	3,8	1,28	0,41	0,8	0,39
5	1754	5,0	5,5	2,25	0,63	2,45	0,83	0,47	0,98	0,51
6	866	4,6	5,36	1,94	0,66	2,04	0,76	0,47	0,94	0,47

Источник: собственный анализ

$$S = \frac{v}{\sqrt{\frac{gh}{\Delta h}}} \quad (5)$$

где: g – ускорение свободного падения.

Полученные данные показаны в таблице 2.

Очевидно, что сопротивление воды движению судна на мелководье S лежит в пределах $0,3 < S < 1,0$. Вариант $S = 1,0$ соответствует предельному случаю $\Delta h = 0,08-0,09$ м, т.е. нахождения судна на мели. Следовательно, сопротивление воды S как понятие теряет всякий смысл. В случае $S = 0,3$ получим $\Delta h = 8-23$ м. При принятом соотношении $h / \Delta h = 15$ и более эти значения определяют «свободную» воду. Анализируя данные таблицы 2 можно заметить интересную закономерность: судно, идущее без груза, в подавляющем большинстве имеет значение S на мелкой воде близкое к 1. Здесь явно проявляется явление «глиссирования», что подтверждает теоретические положения гидродинамики речных судов [6, 7]. Только у судна 573 проекта показатель низок (0,6). Это объясняется специфичной конструкцией судна, когда соотношение скорости и осадки при движении без груза в 2–3 раза меньше, чем у судов других типов (3,75).

Следовательно и эффект глиссады проявляется на мелкой воде значительно меньше.

Используя предложенную методику, можно определить необходимую гарантированную (минимальную) глубину водного пути, когда известен тип эксплуатируемого судна и его характеристики для обеспечения полной безопасности плавания. В случае, если по условиям экологии такое решение оказывается не приемлемы, т.е. нет возможности обеспечить расчётные глубины, судно не догружают и тем самым искусственно уменьшают его осадку. Если такое решение экономически не целесообразно, то следует отказаться от эксплуатации данного типа судов на этом участке водного пути и использовать суда, имеющие меньшую осадку.

Определим для примера значения S на «свободной» (глубокой) воде, когда соотношение $h / \Delta h = 15$. Вычисленные данные сведены в таблицу 3. Величину «свободной» воды можно определить и из предельного отношения $h / \Delta h$ для каждого из приведенных типов судов. На рисунке 1 показан пример графика для судна 507 проекта (движение при полной загрузке), характеризующий зависимость показателя сопротивления воды движению судна на мелководье в зависимости от запаса воды под килем $S(\Delta h)$, когда Δh меняется от предельно допустимого (минимального) уровня до состояния «свободной» воды: $0,2 < \Delta h < 12$ м.

Таблица 3. Определение S – сопротивления воды движению судна на глубоком фарватере судового пути («свободная» вода)

N	Проект	Скорость V [м/с]		Осадка судна h [м]		Глубина пути H [м]		S		
		с грузом	порожний	с грузом	порожний	с грузом	порожний	с грузом	порожний	Δs
1	507	5,8	6,38	3,5	0,79	18,5	15,79	4,54	7,9	3,36
2	781	5,8	6,58	3,34	1,3	18,34	16,3	4,34	8,2	3,86
3	573	4,58	5,0	2,25	1,33	17,25	16,33	2,92	6,25	3,33
4	507	5,5	5,9	3,6	1,08	18,6	16,08	4,67	7,3	2,63
5	1754	5,0	5,5	2,25	0,63	17,25	15,63	2,92	6,8	3,88
6	866	4,6	5,36	1,94	0,66	16,94	15,66	2,5	6,7	4,2

Рис. 1. График $S(\Delta h)$ для судна 507 проекта (движение при полной загрузке)

Таким образом, найдены две предельные характеристики для определения совместной работы гребных винтов и главных двигателей судовой энергетической установки в условиях мелководья и «глубокой» воды. Однако, для вывода всего спектра характеристик необходимо найти промежуточные решения с целью построения рабочих графиков, дающих возможность оценивать состояние системы «грузовое судно – мелководье» и принимать обоснованные решения по содержанию водного пути на мелководных участках для гарантированного судопропуска. Такие расчёты предложены на рисунке 2 для приведенных выше параметров

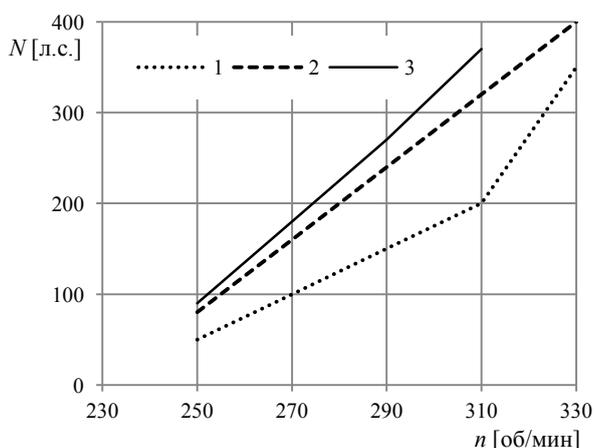


Рис. 2. Характеристики совместной работы гребных винтов и главного двигателя судна проекта 886; 1 – «лёгкий» винт, 2 – оптимальный винт, 3 – «тяжёлый» винт

судового пути. Пример выполнен для танкера 866 проекта. Он имеет минимальную осадку (1,94 / 0,66) и грузоподъёмность 600 тонн. Его эксплуатация характерна для малых рек и мелких водоёмов с гарантированными глубинами судового хода до 2,0 метров.

Выводы

Движение по мелкой воде составляет одну из важнейших задач организации перевозок по внутренним водным путям. Водно-экологический кризис не оставляет возможностей для составления длительного плана полной гарантии глубин судового хода в условиях постоянного снижения стока воды в реки и каналы. Следовательно, в обозримом будущем судоводитель, диспетчер, службы организации движения и путевого хозяйства будут всё чаще сталкиваться с проблемой судопропуска на малых и предельных глубинах.

Прохождение судна по мелкому фарватеру характеризуется следующими отрицательными факторами:

- резким повышением вибрации корпуса судна, что приводит к быстрому износу всех элементов системы, снижает надёжность и безопасность оборудования, ухудшает условия безопасности плавания, представляет угрозу грузам и команде;
- возможна частичная и даже полная потеря управления судном при сильных течениях, боковом ветре, встречном движении;
- при эксплуатационной скорости появляется реактивная волна за корпусом судна (эффект засасывания), при этом размываются берега рек и каналов, наносится гидравлический удар по прибрежным гидротехническим сооружениям;
- нарушается экологический баланс речного региона.

Для устранения указанных явлений следует заранее рассчитывать технологическую скорость движения, в том числе используя результаты

настоящей работы. Предлагаемая методика позволяет за счёт оптимизации движения на мелкой воде избежать пережога топлива, экономить его в пределах 5–7%. Плавное, расчётное снижение и повышение скорости движения позволяет избежать перегрузки главных двигателей снижением частоты вращения валов движительного комплекса. К тому же, опыт показал, что на мелководье судно в любом случае теряет до 25–30% скорости. Предложенная автором методика даёт возможность избежать экономические потери и оптимизировать процедуру прохода мелководья.

Однако, проблема является достаточно сложной и требует дальнейших исследований как в части создания единой методологии экологической безопасности в организации судопропуска на мелководных участках рек и каналов, так и в части разработки математи-

ческого аппарата и моделей «водный путь – судно» применительно к данной задаче.

Литература

1. Большая энциклопедия транспорта. СПб, АТ, Том 6, 1998, 309 с.
2. Справочник эксплуатационника речного транспорта. (Под ред. Пьяных С.М.), М, 1995, 359 с.
3. AREFYEV I.: Metoda diagnostyki silników okrętowych z wykorzystaniem kryteriów prawdopodobieństwa. WSM w Szczecinie. Materiały XXIV Międzynarodowego Sympozjum Siłowni Okrętowych, 2003, 33–37.
4. Основы технологии судостроения. (Под ред. Соколов В.Ф.), СПб, «Судостроение», 1995, 402 с.
5. БОГОМОЛОВ В.С.: Гребные электрические установки: теория и эксплуатация. Калининград, ККИ, 1998, 223 с.
6. Жинкин В.Б.: Теория и устройство корабля. СПб, «Судостроение», 1995, 335 с.
7. Гладков Г.Л., Журавлёв М.В., Соколов Ю.П.: Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках. СПб, ГУВК, 2005, 241 с.