

УДК 656.61.052:5551.326.7

FEATURES MULTIGRADE TOWING VESSELS IN WATERS OF UKRAINE

ОСОБЕННОСТИ ВСЕСЕЗОННОЙ БУКСИРОВКИ СУДОВ В ВОДАХ УКРАИНЫ

P.A. Kostenko, assistant

П.А. Костенко, ассистент

Odessa national maritime academy, Ukraine

Одесская национальная морская академия, Украина

ABSTRACT

The article discusses the need to provide all-season security of towing vessels in port waters and coastal navigation.

In the study produced an improvement of the method of towing vessels by icebreakers, including the analysis kinds towing, towing devices and lines, as well as the safe operation towing structure.

Keywords: tug, icebreakers, safety operations, towing, vessel, all-seasons.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Постановка проблемы в общем виде связана с необходимостью обеспечения безопасности судоходства в портовых водах и на переходах между ними в условиях ограничений связанных с мелководьем, нестабильностью погоды и наличием льда зимой выше 44° СШ.

В практике судоходства используется три основных способа буксировки: в кильватер (в ордере) – на буксирном тросе; борт о борт (лагом) и толканием.

В портовых водах используются все три способа, но наиболее сложным и ответственным является первый способ так как требует большого практического опыта и усиленной бдительности (наблюдаемости) со стороны капитанов буксирующего и буксируемого судов. При этом, согласно Кодексу торгового мореплавания Украины (ст. 229, 230) ответственным за буксировку на внутренней акватории порта назначается капитан буксируемого судна, а в открытом море и внешней акватории порта – капитан буксировщика.

Морские, речные и портовые буксиры обладают: повышенными остойчивостью, маневренностью, управляемостью; соответствующей району плавания осадкой; специальным буксирным оборудованием, состоящим из лебедок, гаков, кнехтов, тросов и т.д.

Для безопасности морских буксировок осуществляется:

- выбор буксирного/ых судна/ов с соответствующими мощностью и мореходными качествами и с опытным/ими экипажем/ами;
- выбор длины и диаметра/ов буксирного/ых троса/ов;

- разработка способа (схемы) крепления буксирного/ых троса/ов на буксирующем/их судне/ах и буксируемом объекте;
- обеспечение готовности буксирного, рулевого, якорного, спасательного оборудования, а также противопожарной и водоотливной систем к немедленному использованию;
- четкая организация команд и служб задействованных в буксировке;
- непрерывное наблюдение за навигационной обстановкой, состоянием и креплением деталей буксирного устройства в процессе буксировки.

Морская буксировка проходит три этапа: подготовку судов к буксировке объекта; подачу буксирного троса и его крепление; управление буксирным караваном (ордером).

Буксируемый объект (судно) должен иметь: нулевой крен, дифферент на корму ($0,6 \div 0,75$ м), продольную прочность, загерметизированные грузовые люки, трюмы и отверстия [1].

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Анализ результатов исследований связанных с эксплуатацией буксирных систем показал, что с точки зрения корабля [2] буксирная система (буксирный состав) в условиях эксплуатации управляема при соблюдении двух условий:

- устойчивости буксируемого судна к возмущениям по боковому перемещению и рысканию;
- высокая эффективность рулевых органов буксировщика при наличии воза.

Первое условие выполняется путем стабилизации действия буксирного троса, которое компенсирует боковое и угловое отклонение буксируемого судна от прямолинейной траектории своим натяжением. При этом эффективность такой стабилизации зависит от свойств и состояния буксируемого судна, потому что отсутствие его устойчивости к возмущениям по угловой скорости рыскания неизбежно приведет движение судна на тихой воде к характеру автоколебаний с переменными амплитудой и частотой.

Соблюдение второго условия требует наличия у буксировщика тяги на гаке достаточной для противодействия ветроволновым возмущениям по удержанию буксируемого судна на линии заданной траектории.

Так как способность сохранения управляемости буксирного состава зависит от скорости буксировки, а угроза возникновения автоколебаний при движении буксируемого судна даже на тихой воде, то для прогнозирования управляемости состава производятся расчеты устойчивости буксируемого на тросе судна в условиях тихой воды, а также элементов (параметров) установившегося движения судов состава при действии на них ветра и волн.

При расчете устойчивости буксируемого судна приняты следующие допущения:

- действие буксирного троса эквивалентно действию однозвенного шарнирного стержня;
- коренной конец троса от буксировщика движется равномерно и прямолинейно;
- скорость поперечного перемещения ходового конца троса от буксируемого судна пренебрежимо мало в сравнении с продольной составляющей скорости принимаемой равно скорости движения буксировщика;
- длина буксирной связи в несколько раз превышает длину буксируемого судна;
- буксируемое судно движется на тихой воде при бездействующем рулевом устройстве.

Исходные данные для расчетов представлены: геометрическими и гидродинамическими характеристиками корпуса и рулевых органов буксируемого судна, а также величиной плеча приложения тяги троса.

Оценка устойчивости и определение равновесных положений буксируемого судна осуществляется по величинам относительных значений плеч позиционных сил $\overline{x_\beta}$; демпфирующих сил $\overline{x_\omega}$ и тяги $\overline{x_F}$, а также величины, определяющей области значений абсциссы $\overline{x_F}$, соответствующие устойчивым $\overline{x_F^*}$ и неустойчивым $\overline{x_F^{**}}$ режимам движения буксируемого судна.

При этом могут наблюдаться следующие состояния буксируемого судна (табл.1)

Также отмечается, что:

- Z при отсутствии ветра и волнения буксирная система может находиться в одном из состояний приведенных в таблице;
- при наличии ветра носовая оконечность буксируемого судна будет отклоняться на ветер;
- при наличии ветра устойчивость буксируемого судна может быть обеспечена при углах дрейфа β_p больше критического $\beta_{кр}$ характерного для некоторого критического режима его криволинейного установившегося движения.

К мерам, способствующим обеспечению устойчивости буксируемого судна, относят:

- смещение точки крепления ходового конца троса вперед по ходу судна;
- оборудование судна подкорпусными стабилизаторами в кормовой части;
- посадка судна с дифферентом на корму;
- увеличение гидроаэродинамического сопротивления;
- использование дополнительного кормового буксира для одержавания движения буксируемого судна или иных плохообтекаемых буксируемых тел, а также буксировка судна кормой вперед.

Таблица 1 – Режимы движения буксируемого судна в зависимости от соотношения плеч сил при безветрии.

| № п/п | Соотношение плеч | Состояние буксируемого судна | Характер движения состава |
|-------|--|--|---|
| 1 | $\overline{x_\omega} > \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F} > \overline{x_\beta}$ | Устойчиво по боковому смещению и рысканию. Угол дрейфа $\beta = 0$. | Буксируемое судно в кильватере буксировщика. |
| 2 | $\overline{x_\omega} > \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F} < \overline{x_\beta}$ | Устойчиво по боковому смещению и рысканию. Угол дрейфа $\pm \beta \neq 0$. | Буксируемое судно движется за буксировщиком прямолинейно под углом дрейфа $\pm \beta$. |
| 3 | $\overline{x_\omega} < \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F^*} < \overline{x_F^{**}}$ | Неустойчиво, самопроизвольное рыскание. Амплитуда угла дрейфа A_β достигает ее значения при самопроизвольной циркуляции A_β^{cu} . | Буксируемое судно совершает колебательные перемещения по ходу состава. |
| 4 | $\overline{x_\omega} > \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F} > \overline{x_\beta}$ | Устойчиво по боковому смещению и рысканию. Угол дрейфа $\beta = 0$. | Буксируемое судна движется в кильватере за буксировщиком. |
| 5 | $\overline{x_\omega} < \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F} < \overline{x_F^*}$ | Устойчиво по условиям п.2. Ухудшения управляемости из-за появления компоненты $\overline{x_F}$. | Движение прямолинейное за буксировщиком со смещением вправо и влево. |

При возмущающем действии ветра и волн на буксирную систему дополнительно к расчету ее устойчивости определяют потребные угол перекладки рулевых органов буксировщика и величину упора его движителей для установления допустимой скорости буксировки состава.

Расчет проводят при следующих допущениях:

- скорость и направление ветра постоянно;
- направление ветра и волн совпадают;
- волнение регулярное;
- ветровой крен судов состава отсутствует;
- гидродинамическими нагрузками на буксирный трос и его провисанием пренебрегают;
- на суда буксирного состава действуют только осредненные продольные силы, действующие в координатной системе судна, включающие силы сопротивления дополнительных устройств, ветровые и волновые силы и моменты, бакового сноса и разворота судов с ограничением по перекладке руля буксировщика не более 25° .

Для выполнения расчетов используют уравнения кинетического прямолинейного движения на плоскости буксирного состава отдельно по каждому судну представленному в своей координатной системе в виде материальной точки в ЦТ судна.

Результаты вычислений динамических параметров движения состава позволили получить четыре основных научных результата [2]:

1. В отличие от случая движения одиночного судна, для которого потеря управляемости при ветре возможна только при скоростях движения, меньших некоторого предельного значения, при движении буксирного состава имеется зона допустимых скоростей с нижней и верхней границами, вследствие чего потеря управляемости состава возможна как при скоростях, меньших нижней границы этой зоны, так и при скоростях, больших ее верхней границы.
2. Потребная тяга буксировщика при движении с возом навстречу волнам и ветру с курсовым углом 0° значительно меньше, чем при движении с другими курсовыми углами, и, следовательно, указанный режим движения не может являться определяющим.
3. Располагаемая тяга буксировщика должна позволять развивать необходимые скорости буксировки при произвольных курсовых углах ветра, так как в противном случае не будет обеспечиваться управляемость состава.
4. В случае буксировки на предельно малых скоростях возможно возникновение ситуации, когда буксировщик разворачивается носом под ветер, а не на ветер, как обычно. Эту возможность следует учитывать при выполнении расчетов, и при решении уравнений динамики надо задаваться не только положительными, но и отрицательными значениями угла дрейфа.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью настоящего исследования явилось необходимость обеспечения безопасности всесезонной буксировки судов как в портовых водах так и прибрежном плавании.

Главной задачей исследования стало совершенствование метода буксировки судов ледоколами (буксирами ледового класса), включая анализ: видов буксировки, буксирных устройств и линий, а также безопасного управления буксирным составом.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Решение поставленной задачи начинается с формирования баланса сил и моментов в буксируемой системе, влияющих на ее устойчивость, которые не учтены в теории корабля.

Это, в первую очередь, касается характеристик собственной волновой системы буксира влияющей на мореходность буксируемого судна [3].

При буксировке на буксирном тросе длиной $L_T \leq 100\text{ м}$ эффект заливаемости буксируемого судна будет наблюдаться при $h_w \geq H_{\delta c}$, где h_w – высота собственной волны буксирующего судна (м) равная $0,122V_\delta^{1,5}$, $H_{\delta c}$ – высота надводного борта буксируемого судна (м), а V_δ – скорость буксируемого судна (м/с). Заливаемость носовой оконечности буксируемого

судна максимальная при условии равенства его длины $L_{\delta c}$ длине собственной волны буксирующего судна $\lambda_{w(\delta)}$, т.е. при $V_{0,67\delta(3)} \approx 1,25\sqrt{L_{\delta c}}$ или $V_{\delta(3)} \approx 4 \cdot H_{\delta c}$.

Эффект слеминга может наблюдаться на буксируемом судне в случае, когда амплитуда собственной волны буксира A_w превышает осадку $T_{\delta c}$ буксируемого судна, т.е. $V_{\delta(c)} \approx 6,45T_{\delta c}^{0,67}$.

Явление резонанса килевой качки у буксируемого судна при одинаковых курсовых углах буксируемого состава будет наблюдаться при $V_{\delta(p)} \approx 7,3\sqrt{T_{\delta c}}$, а при различных курсовых углах ΔK_y явление резонанса будет наблюдаться на скорости буксировки равной $V_{\delta(p)} \approx -\text{Cos}(\Delta K_y) / [0,64(1 - 2,4\sqrt{T_{\delta c}})]$.

Таким образом, для обеспечения мореходности буксируемого судна скорость буксировки (м/с) не должна превышать при $L_{\delta} \geq L_{\delta c}$:

$$V_{\delta} < \begin{cases} 1,25\sqrt{L_{\delta c}}; \\ 4H_{\delta c}^{0,67} \text{ при } \Delta K_y = 0; \\ -\text{Cos}(\Delta K_y) / [0,64(1 - 2,4\sqrt{T_{\delta c}})] \text{ при } |\Delta K_y| < 90^{\circ}. \end{cases}$$

При наличии ветра, волнения и течения, когда буксируемая система совершает сложное движение на каналах и фарватерах, требуется непрерывная информация не о величине ее отклонения от оси прохода, а о векторе суммарного сноса представленном в связанной форме. Это позволит в минимальное время выйти составу на линию оси, которое равно интервалу между счислениями пути.

Буксировка судов ледоколами или портовыми буксирами м соответствующим классом ледопроеходимости во льдах осуществляется[4]:

- на длинном буксире с $L_{\delta} \approx 100\text{м}$;
- на коротком буксире $40 \leq L_{\delta} \leq 50\text{м}$;
- вплотную в кормовом вырезе ледокола по типу «тандем».

Первый вид буксировки используется на прямых участках ледового пути Азовского моря и Херсонского морского канала (ХМК), а не на криволинейных коленах Бугско-Днепровского лиманного канала (БДЛК) из-за большого сопротивления буксируемому судну.

Второй вид буксировки на коротком буксире наиболее универсален так как буксируемая система управляема как на прямолинейных участках так и на поворотах, двигаясь с приемлемой скоростью без остановки движения и околки буксируемого судна.

Буксировка вплотную характерна для тяжелых льдов преодолеваемых двумя буксирами при прокладке канала ледовому каравану, а поэтому получила широкое распространение на морских путях Северного ледового океана. Существенными недостатками такого вида буксировки являются не совпадение кормовых обводов ледокола с носовым вырезом буксируемого судна, а при поворотах, особенно на $10 \div 15^{\circ}$ и выше система плохо управляема и создается

угроза выхода носа буксируемого судна с кормового разреза ледокола, что грозит дополнительной потерей времени на сборку буксирной линии.

Буксировка судов во льдах требует наличия на ледоколах специальных буксировочных устройств, включая: буксирную лебедку, амортизатор (демпфер), две буксирные серьги, кормовой вырез оборудованный мягкими кранцами, блок конструкции Н.М. Николаева (или набор для буксировки различных судов, а также запас буксирных стропов «усов» $L_T \in [25; 30\text{м}]$ и диаметром $d_T \in [45; 65\text{мм}]$ в количестве $20 \div 25$ штук, которые продеваются через клюзы буксируемого судна.

На буксируемых судах специальных приспособлений и устройств для крепления буксирного стропа нет. Вместе с тем, имеются два способа крепления буксирного троса поданного с ледокола, который должен быстро и легко отдаваться [5]:

- огоны буксирного троса соединяются на палубе буксируемого судна найтовым из манильского или пенькового троса в несколько рядов шлагов (30 – 70), на изготовление которых требуется 50 – 100 метров растительного каната в зависимости от его диаметра;
- на палубе буксируемого судна через оба огона буксира ледокола пропускается короткое бревно, желательно четырехгранное;
- соединения огонов (усов) осуществляется с помощью якорной скобы;
- заводка буксирного стропа через носовой клюз на биттенги буксируемого судна.

Важнейшим показателем сборки буксирной линии является суммарный период времени на её подготовку, сборку и безопасную отдачу буксира, которой составляет не менее 25 – 30 минут. В связи с этим остро стоит проблема унификации носовых форм судов и кормовых вырезов ледоколов, а также способов и средств ледокольной буксировки.

Опыт ледовых проводок и буксировок судов показал [6], что при ледовом плавании у берегов Украины оптимальной является буксировка судов на коротком буксире с оптимальной длиной 35 – 40 метров при скорости буксирного состава порядка 5 – 6 узлов, а по маршрутам Азовского моря в суровые зимы – до 1 – 2 узлов.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Буксировка судов в ордере по чистой воде на коротком буксире (30 – 50м) требует строго соблюдения ходового режима состава особенно в мелководных лиманах и устьях рек где действие собственной системы кормовых волн буксирующего судна оказывает негативное воздействие на мореходность буксируемого судна. Поэтому при назначении скорости буксировки следует учитывать длину по КВЛ, осадку и высоту надводного борта буксируемого судна, увеличение которых позволит увеличить V_δ , а также однонаправленность плоского движения определяемую ΔK_y , косинус которого изменяет величину V_δ .

Буксировка судов на каналах по чистой воде требует при счислении пути определения не величины отклонения счисленной точки от линии оси канала, а суммарного вектора скорости сноса буксируемого судна представленного в связанном виде для корректировки направления движения буксирного каравана. Такая корректировка счисляемого пути позволяет устранить величину отклонения при очередном счислении.

Безопасная буксировка судов во льдах на коротком буксире требует снижения скорости состава из-за повышенного сопротивления льда движению судов и угрозы обрыва буксировочной линии, а также повреждения корпусов судов из-за тяжелых и сплоченных льдов.

Безопасная всесезонная буксировка судов является неотъемлемым атрибутом работы 18-ти морских портов Украины, которые обеспечивают необходимую интенсивность морских перевозок в Украине.

Рассмотренные внешние и внутренние факторы, влияющие на мореходность буксируемого судна показали на ее зависимость от размерений и направления движения ордера.

Результаты, приведенные в данном исследовании, позволяют в экспресс режиме определить безопасную скорость буксировки и сформировать алгоритм счисления пути ордера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Репетей В.Д. Морские буксировки [Текст] / В.Д. Репетей. – Одесса: Укрмормединформ, 2006. – 174 с.
2. Справочник по теории корабля в 3-х томах, том 3. : Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания [Текст] / Под ред. Я И. Войткунского. – Л. : Судостроение, 1985. – 544 с.
3. Голиков В.В. Расчетная оценка влияния собственной волновой системы большого судна на мореходность маломерного судна пиратов [Текст] / В.В. Голиков, А.Г. Губский // Судовождение: сб. научн. тр. / ОНМА Одесса: ОНМА, 2012. – с. 71 – 77.
4. Снопков В.И. Управление судном. [текст]/В.И.Снопков// – Санкт-Петербург: АНО НПО «Профессионал», 2004. -536 с.
5. Арикайнен А.И. Азбука ледового плавания [Текст] / А.И. Арикайнен, К.Н. Чубаков. – М. : Транспорт, 1987. – 224 с.
6. Голиков В.В. Опыт проводки судов ледоколом «Капитан Белоус» в ледовую навигацию по Азовскому морю / В.В. Голиков, А.А. Лысый, П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научно-техн. сб. / ОНМА, вып. 27. – Одесса: ОНМА, 2011. – С. 39 – 44.