ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет

АВАРИЙНАЯ БУКСИРОВКА СУДНА

Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Маневрирование и управление судном», для курсантов специальности 26.05.05. «Судовождение»

Владивосток
2025

УДК 629.12.192: 656.61

Утверждено редакционно-издательским советом Дальневосточного технического института рыбной промышленности и хозяйства.

Автор – В.В. Ганнесен

Рецензент – Е.Н. Бакланов

© Ганнесен В.В., 2025
© Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2025 г.

Содержание

1 ЦЕЛЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 4
2 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА 4
3 ЗАДАНИЕ 5
4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ 5
5 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ 6
5.1 Расчет действующих сил 6
5.1 Подбор судна, способного провести буксировку аварийного судна 11
5.2 Подбор стального троса, достаточной прочности и длины для буксировки аварийного судна 14
5.3 Определение возможности буксировки аварийного судна при использовании его штатного буксирного троса в качестве буксирной линии. 15
5.4 Определить возможность буксировки аварийного судна с использованием его швартовных тросов. 17
5.4.1 определение параметров однородной буксирной линии, изготовленной из швартовных тросов 18
5.4.2 определение параметров амортизатора, изготовленного из швартовных тросов, при использовании штатного буксирного троса 20
Приложение 1. Сборник индивидуальных заданий 22
Приложение 2. Характеристики судов, из которых выбирается буксировщик 29
Приложение 3. Характеристики стальных буксирных тросов 30
Приложение 4. Пример оформления титульного листа курсовой работы 31
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 32

1 ЦЕЛЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы (далее КР) является подготовка судоводителей в соответствие с требованием Международной конвенции по подготовке и дипломировании моряков и несению вахты (ПДМНВ-78) [1] к готовности действовать в чрезвычайных ситуациях в части знаний оборудования и процедур аварийной буксировки: Таблица A-II/1: компетенция «Маневрирование судна» пп. 1, 2; компетенция «Действие в аварийных ситуациях» пп. 3; Таблица A-II/2: компетенция «Маневрирование судна» пп. 7, 8, 10, 11; компетенция «Действие в аварийных ситуациях» пп. 7

Курсовая работа рассчитана на формирование элементов профессиональных компетенций, предусмотренных Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 26.05.05. «Судовождение» [2]:

− способностью самостоятельно приобретать знания в области судоходства, понимать научно-технические, правовые и экономические проблемы водного транспорта (ПК-2);

− способностью действовать в аварийных и чрезвычайных ситуациях в соответствии с международными и национальными требованиями, производить необходимую оценку рисков (ПК-12);

− способностью применять базовые знания фундаментальных и профессиональных дисциплин, проводить технико-экономический анализ, обосновывать принимаемые решения по использованию судового оборудования, умением решать на их основе практические задачи профессиональной деятельности (ПК-16);

способностью разработать обобщенные варианты решения проблемы, выполнить анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений (ПК-23)

2 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен соответствовать индивидуальному заданию на курсовую работу, объем которой обуславливается характером и целями индивидуального задания.

Структура пояснительной записки:

1. Цель работы.
2. Исходные данные варианта курсовой работы.
3. Расчетная часть курсовой работы, включающая:
   - используемые формулы с пояснениями назначения и расшифровкой входящих величин;
   - результаты расчетов с указанием единиц измерения.
4. Заключение, содержащее краткий вывод по результатам расчетов. Каждый раздел должен заканчиваться выводом.

Отчет по курсовой работе, оформленный в соответствии с требованиями ЕСКД, представляется преподавателю.

3 ЗАДАНИЕ

В индивидуальном задании на выполнение КР (Приложение 1) дается определенное аварийное судно, ожидаемые погодные условия и ставятся следующие задачи:

1. Подобрать судно, способное вести буксировку аварийного судна при заданных условиях (Приложение 2).
2. Подобрать буксирный трос, достаточной прочности и длины для буксировки аварийного судна при заданных условиях (Приложение 3).
3. Определить возможность буксировки аварийного судна при использовании его штатного буксирного троса в качестве буксирной линии.
4. Определить возможность буксировки аварийного судна при использовании его швартовных тросов в качестве буксирной линии.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения КР необходимо изучить теоретические основы буксировочных операций [3]. Обратить внимание, что для расчета отдельных величин техническая и специальная литература предлагает различные формулы, дающие, к тому же, различные результаты. В подобных случаях при выполнении курсовой работы следует пользоваться соответствующей формулой, оговоренной в методических указаниях к КР.

Произвести необходимые расчеты, соответствующие индивидуальному заданию. Выбор варианта производится по двум последним цифрам зачетной книжки согласно следующей таблице:

		Последняя цифра									
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
		Номер варианта									
Предпоследняя цифра	**0**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	3	31	32	33	34	35	36	37	38	1	2
	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	5	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	6	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	7	33	34	35	36	37	38	1	2	3	4
	8	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	9	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

5 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Для решения любых задач, связанных с проведением буксировки, необходимо предварительно произвести расчет сопротивления буксируемого судна. Величина сопротивления в дальнейшем будет определять и возможность использования того или иного судна для проведения буксировки, и подбор элементов буксирной линии с необходимой прочностью.

5.1 Расчет действующих сил

Основными силами, действующими на караван, является упор винта буксировщика $\boldsymbol{T}$ и сопротивление среды движению каравана $\boldsymbol{\Sigma R}$ (рис.1).

Рис.1. Взаимосвязь сил движущих и сил сопротивления

Если не касаться режимов разгона и торможения, т.е. рассматривать только режим равномерного прямолинейного движения, то можно считать, что эти противоположно направленные силы равны:

$$T = \sum R\,, \qquad (1)$$

где T - упор винта;
ΣR - суммарное сопротивление каравана.

Суммарное сопротивление каравана ΣR складывается из трех составляющих:

$$\sum R = \sum R_{б-ка} + \sum R_{б-го} + R_{тр}\,, \qquad (2)$$

где $\Sigma R_{б\text{-}ка}$ - полное сопротивление буксировщика, кН ;
$\Sigma R_{б\text{-}го}$ - полное сопротивление буксируемого судна, кН ;
$R_{тр.}$ - сопротивление воды движению буксирного троса, кН.

Для приближенного определения полного сопротивления буксируемого судна $\boldsymbol{\Sigma R_{б\text{-}го}}$ его следует разделить на составные части:

$$\sum R_{б-го} = R_f + R_r + R_{возд.} + R_{волн} + R_{вт}\,, \qquad (3)$$

где R_f - сопротивление трения;
R_r - остаточное сопротивление;
$R_{возд.}$ - сопротивление воздуха;
$R_{волн.}$ - сопротивление от волнения;
$R_{вт.}$- сопротивление винта.

Для расчета составных частей полного сопротивления буксируемого судна (3) используются имперические формулы. Эти формулы не дают абсолютно точного результата, так как не учитывают все особенности судов, но для практических расчетов точность полученных результатов достаточна.

Сопротивление трения корпуса судна $\boldsymbol{R_f}$ можно рассчитать по формуле [3], кН:

$$R_f = f * \gamma * \Omega * V^{1.83} * 10^{-5} \ , \qquad (4)$$

где γ - плотность морской воды, 1025 кг/м^3 ;

Ω - площадь смоченной поверхности корпуса судна, м^2 ;

V - скорость судна, м/с ;

f - коэффициент трения, выбираемый из табл.2 в зависимости от длины судна [3].

Таблица 2

Коэффициент трения корпуса судна в воде

L, м	30	40	50-70	80-90	100-110	120-150	160-190	200-220
f	0.147	0.146	0.144	0.143	0.142	0.141	0.140	0.139

Площадь смоченной поверхности определяется по кривой элементов теоретического чертежа данного судна. Если такие данные отсутствуют, то можно воспользоваться формулой [3], кН:

$$\Omega = 1.05L(1.7d + C_B B) \ , \qquad (5)$$

где L - длина судна по действующей ватерлинии, м;

d - средняя осадка судна, м ;

B - ширина корпуса судна, м ;

$C_в$ - коэффициент общей полноты корпуса судна, определяемый либо по кривым элементов теоретического чертежа, либо из выражения:

$$C_B = \frac{\Delta}{L * B * d * \gamma} * 10^3, \qquad (6)$$

где Δ - весовое водоизмещение судна, т.

Для определения величины остаточного сопротивления $\boldsymbol{R_r}$ можно воспользоваться формулой [3], кН:

$$R_r = 0{,}09 \frac{C_B * \Delta * V^4}{L^2}. \qquad (7)$$

Сопротивление воздуха $\boldsymbol{R_{возд}}$ зависит от скорости и направления кажущегося ветра. Вектор кажущегося ветра является, как известно, результатом сложения векторов скорости судна и скорости истинного ветра. Обычно, наибольшее давление воздуха на судно наблюдается при курсовых углах ветра около 30°. Поскольку во время буксировки возможны различные ситуации от попутного ветра до встречного, то в расчетах следует принимать худший вариант из возможных: встречный ветер при курсовом угле 30°. С учетом этого, преобразованная формула [3] определения сопротивления воздуха $\boldsymbol{R_{возд}}$ будет иметь вид, кН:

$$R_{возд.} = (0.88A_m + 0.51A_d) * (V + V_в)^2 * 10^{-3} , \qquad (8)$$

где $V_в$ - скорость ветра, м/с;

A_m - проекция надводной поверхности судна на плоскость мидель-шпангоута, м^2;

A_d - проекция надводной поверхности судна на диаметральную плоскость судна, м.

Сопротивление движению судна, вызываемое волнением моря, предполагается находить [3] из выражения, кН:

$$R_{волн.} = k_б * \gamma * \Omega * V^2 / (2 * 10^7) , \qquad (9)$$

где $k_б$ - волнение моря, балл.

Для перевода высоты волн в баллы следует воспользоваться таблицей 3.

Таблица 3

Шкала степени волнения моря

Высота волн, м	0-0,24	0,25-0,74	0,75-1,24	1,25-1,9	2,0-3,4	3,5-5,9	6,0-8,4	8,5-10,9	≥11
Балл	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Для расчета сопротивления гребного винта существуют различные эмпирические формулы. Так в [3] предлагается рассчитывать сопротивление застопоренного винта $\boldsymbol{R_{з.в.}}$ по формуле, кН:

$$R_{з.в.} = 0.5(A/A_d) * D_в^2 * V^2 , \qquad (10)$$

где A/A_d - дисковое отношение винта;

$D_в$ - диаметр винта, м.

В том случае, когда винт буксируемого судна имеет возможность свободно вращаться, сопротивление винта можно определить из выражения, кН:

$$R_{в.в.} = 0.13(A/A_d) * D_в^2 * V^2 . \qquad (11)$$

Сопротивление воды движению погруженной части буксирного троса рекомендуется [3] определять из выражения, кН:

$$R_{тр} = 0{,}04 l_n * d_{тр} * V^2 \quad , \qquad (12)$$

где l_n - длина погруженной части троса, м;

$d_{тр}$ - диаметр троса, м;

при этом

$$l_n = \sqrt{l^2 - \frac{80 * \sum R_{б-го} * h_{тр}}{q_{тр}}} , \qquad (13)$$

где $h_т$ - средняя высота крепления буксирного троса над уровнем воды, м;

$q_{тр}$ - линейная плотность буксирного троса, кг/м;

l - полная длина буксирного троса.

Однако в условиях морского волнения из-за постоянного расхождения и схождения судов тяга на гаке будет постоянно изменяться, а, следовательно, будет постоянно изменяться и величина погруженной части троса: при схождении судов трос будет больше погружаться в воду и создавать большее сопротивление, а при расхождении судов трос будет спрямляться и выходить из воды, что будет уменьшать сопротивление троса.

Приближенные расчеты показывают, что сопротивление стального буксирного троса, подобранного для длительной мор-

ской буксировки при погодных условиях средней тяжести, составляет 6 - 9 % от сопротивления буксируемого судна. В данной курсовой работе индивидуальные задания составлены для относительно легких погодных условий, что позволяет сопротивление буксирного троса принять равным 5 % от полного сопротивления буксируемого судна $\Sigma R_{б\text{-}го}$, т.е.:

$$R_{тр} = 0{,}05\Sigma R_{б-го} \quad . \tag{14}$$

Некоторое превышение истинного значения $\boldsymbol{R_{тр.}}$ при этом направлено в сторону увеличения безопасности буксировки в тяжелых погодных условиях.

Расчет полного сопротивления буксировщика $\boldsymbol{\Sigma R_{б\text{-}ка}}$ производится аналогично расчету для буксируемого судна:

$$\sum R_{б-ка} = R_f + R_r + R_{возд.} + R_{волн} \quad . \tag{15}$$

5.1 Подбор судна, способного провести буксировку аварийного судна

Если судно-буксировщик заранее неизвестно, и ставится задача подбора судна достаточной мощности, то расчет по формуле (15) необходимо сделать для всех судов, которые имеются в наличии и потенциально могли бы использоваться для буксировки.

В данном разделе курсовой работы необходимо из имеющихся в наличии судов-буксировщиков (Приложение 2) выбрать то, которое может обеспечить **наибольшую скорость буксировки** аварийного судна.

Для решения этой задачи необходимо построить график сопротивлений каравана при различных скоростях движения (рис.2). График строится на основе расчетных данных, сведенных в таблицу 5, полученную на основании данных таблиц 4 и 5.

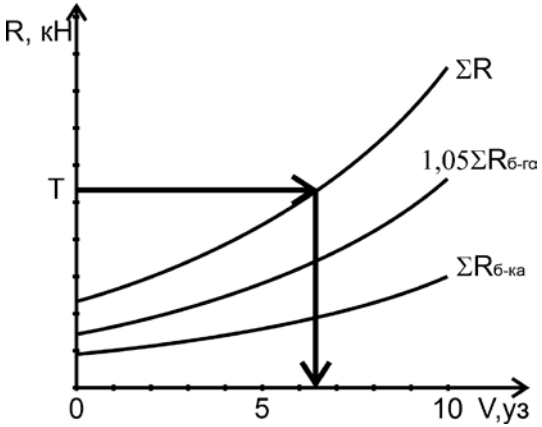

Рис.2. График сопротивления каравана при различных скоростях буксировки: $\Sigma R_{б\text{-}ка}$ - сопротивление буксировщика; $1{,}05\Sigma R_{б\text{-}го}$ - сопротивление буксируемого судна с учетом сопротивления погруженной части стального троса; ΣR – общее сопротивление каравана.

Таблица 4

Данные сопротивления буксируемого судна

V,уз / R,кН	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_f										
R_r										
$R_{возд.}$										
$R_{волн.}$										
$R_{вт}$										
$\Sigma R_{б\text{-}го}$										
$1{,}05\Sigma R_{б\text{-}го}$										

Таблица 5

Данные сопротивления буксировщика

V,уз / R,кН	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_f										
R_r										
$R_{возд.}$										
$R_{волн.}$										
$\Sigma R_{б\text{-}ка}$										

Таблица 6

Данные сопротивления буксировочного каравана

V,уз / R,кН	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Sigma R_{б\text{-}ка}$										
$1{,}05\Sigma R_{б\text{-}го}$										
ΣR										

Рис.2 является графическим вариантом выражений (1) и (2). Из этого графика легко определяется теоретически максимально возможная скорость буксировки, при которой максимально возможный упор винта буксировщика ***T*** полностью расходуется на общее сопротивление каравана ***ΣR***.

! Следует обратить внимание, что расчетные формулы сопротивлений используют величину скорости в ***м/с***, а таблицы и графики необходимо строить в ***узлах***.

Для расчета максимального упора винта - упора винта на швартовах - используются различные эмпирические формулы. Одной из формул, наиболее полно учитывающей особенности винта, является следующая [3], кН:

$$T = 1{,}13 * \left(1{,}9 - \frac{H_в}{D_в}\right) * \frac{P_в}{D_в * n}, \qquad (16)$$

где $H_в$ - шаг винта, м;

$D_в$ - диаметр винта, м;

$P_в$ - мощность, потребляемая гребным винтом, кВт;

n - частота вращения гребного винта, $с^{-1}$ (об./с).

Итогом данного раздела КР должен стать обоснованный расчетами выбор судна-буксировщика.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БУКСИРНОЙ ЛИНИИ

Буксирная линия подбирается в зависимости от многих факторов: особенности буксируемого объекта, погодные условия и мате-

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

5.2 Подбор стального троса, достаточной прочности и длины для буксировки аварийного судна

Для подбора троса необходимой прочности следует использовать данные расчета сопротивлений. Максимальная статическая нагрузка на буксирный трос без учета динамических рывков на волнении воздействует в месте крепления троса на буксировщике, поскольку сила натяжения складывается из сопротивления буксируемого судна $\Sigma R_{б\text{-}го}$ и сопротивления троса $R_{тр}$ (рис. 3). Эта нагрузка называется «тяга на гаке» $F_г$.

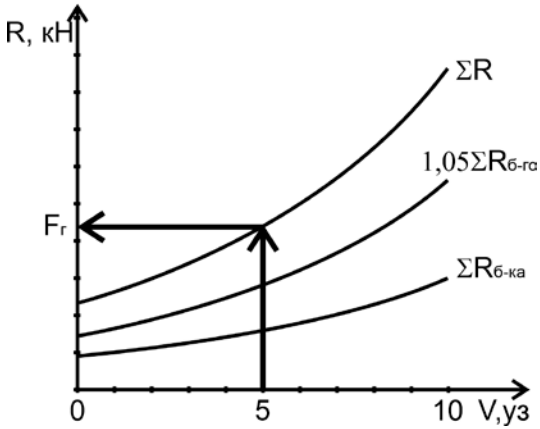

Рис. 3. Определение тяги на гаке

В курсовой работе ставится задача подбора стального троса для буксировки со скоростью 5 уз. Для решения задачи по данным расчетов определяется сначала тяга на гаке, а по величине тяги на гаке выбирается трос (Приложение 3).

Выбор троса производится по величине разрывной нагрузки троса, которая должна учитывать запас прочности по отношению к действующей силе.

Разрывная прочность $P_{раз.}$ буксирного троса регулируется Правилами Российского морского регистра судоходства [4] в зависимости от номинальной тяги на гаке:

$$P_{раз.} \geq nF_{Г}, \tag{17}$$

где ***n*** - коэффициент запаса прочности:

$$\left.\begin{array}{ll} n = 5 & при F_{Г} \leq 98.1 кН \\ n = 3 & при F_{Г} \geq 294.3 кН \end{array}\right\} \tag{18}$$

Для промежуточных значений тяги на гаке (от 98,1 до 294,3 кН) коэффициент запаса прочности определяется линейной интерполяцией, что соответствует выражению:

$$n = 6 - \frac{F_{Г}}{98.1} \tag{19}$$

Приближенная длина стального буксирного троса может быть рассчитана по формуле, м:

$$l = 85 h_{в}\ , \tag{20}$$

где $h_{в}$ - высота волн, м.

Итогом данного раздела КР должен стать обоснованный расчетами выбор стального троса (Приложение 3) и определение необходимой его длины.

5.3 Определение возможности буксировки аварийного судна при использовании его штатного буксирного троса в качестве буксирной линии.

Поскольку штатный буксирный трос имеет ограниченную длину и заранее известную разрывную прочность, то его проверка на пригодность для проведения буксировки проводится по двум параметрам:

- предельно допустимое волнение;
- предельно допустимая скорость буксировки.

Для определения предельно допустимого волнения можно воспользоваться преобразованной формулой (20):

$$h_в = l/85. \tag{21}$$

Для определения предельно допустимой скорости необходимо выдержать требования к запасу прочности, описанные выше, т.е. по разрывному усилию данного троса определяется предельно допустимая тяга на гаке:

$$F_{Г.доп} = P_{раз} / n \ . \tag{22}$$

Коэффициент запаса прочности ***n*** в этом случае определяется исходя из условий:

$$\left.\begin{array}{ll} n = 5 & при P_{раз.} \le 490.5 кН \\ n = 3 & при P_{раз.} \ge 882.9 кН \end{array}\right\} \tag{23}$$

Для промежуточных значений $\boldsymbol{P_{раз}}$ коэффициент запаса прочности определяется, как:

$$n = 3 + \sqrt{9 - \frac{P_{раз.}}{98.1}} \tag{24}$$

Так как тяга на гаке зависит от скорости буксировки, то определив предельно допустимую величину $\boldsymbol{F_{г.доп.}}$, по графику сопротивлений (рис.4) можно найти и предельно допустимую скорость буксировки для данного буксирного троса при тех погодных условиях, для которых составлялся график сопротивлений.

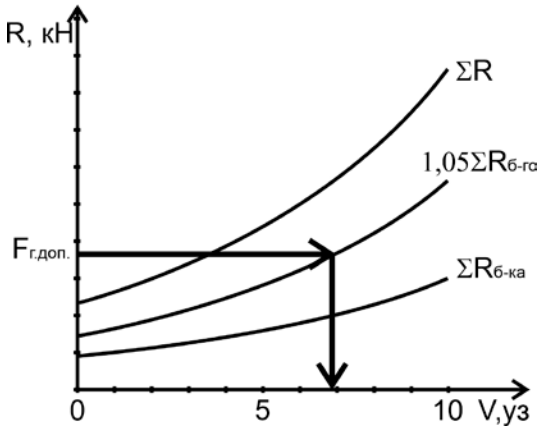

Рис. 4. Определение предельно допустимой скорости буксировки для штатного буксирного троса

Итогом данного раздела КР должны стать:

- максимально допустимая нагрузка на трос;
- максимально допустимое волнение;
- оценка пригодности троса для данной буксировки, и максимально возможная скорость буксировки, если буксировка возможна.

5.4 Определить возможность буксировки аварийного судна с использованием его швартовных тросов.

В данной работе ставятся две задачи:

1) определить параметры однородной буксирной линии, изготовленной из швартовных тросов;

2) определить параметры амортизатора, изготовленного из швартовных тросов, при использовании штатного буксирного троса.

Обе задачи должны решаться для проведения буксировки со скоростью до 5 узлов, где искомыми величинами являются:

- количество параллельно уложенных тросов в пучке;
- минимально необходимая длина.

5.4.1 определение параметров однородной буксирной линии, изготовленной из швартовных тросов

Для нахождения количества тросов, укладываемых параллельно в пучок, необходима величина нагрузки на линию при 5 узловой скорости буксировки, для чего следует воспользоваться данными табл.3. Учитывая, что буксирная линия, изготовленная из швартовных тросов, под натяжением вообще не будет погружаться в воду, то в качестве величины тяги на гаке следует принимать $\Sigma R_{б\text{-}го}$ для соответствующей скорости.

Найдя действующую нагрузку и учтя коэффициент запаса прочности (условие (18)), определяется минимально необходимая разрывная прочность буксирной линии $\boldsymbol{P_{раз.бл.}}$ (условие (17)).

Зная разрывную прочность одного швартовного троса $\boldsymbol{P_{раз.шв.}}$ и необходимую прочность буксирной линии $\boldsymbol{P_{раз.бл.}}$, определяется количество швартовов, удовлетворяющих условиям задачи:

$$N \geq P_{раз.бл} / P_{раз.шв} \qquad (25)$$

Для определения необходимой длины следует исходить из того, что в общем случае упругое удлинение синтетического каната определяется выражением [3]:

$$_{\Delta}L = L_c \sqrt{F / (\alpha * P_{раз.с})}, \qquad (26)$$

где L_c - длина синтетического троса, м;

F - сила, растягивающая трос, кН;

α - безразмерный коэффициент, зависящий от характеристик троса, выбираемый из табл.7.

Таблица 7

Материал троса	Крученый трехпрядный без оплетки	Плетеный восьмипрядный без оплетки
Капрон сырой	2.6	3.2
Полипропилен	8.0	11.0
Полиэфир	7.5	11.0

При расчетах следует помнить, что предельно допустимая кратковременная нагрузка на трос не должна превышать половину

величины разрывной нагрузки троса $P_{раз.шв} / 2$. Поскольку при ведении буксировки трос изначально растянут под действием силы тяги на гаке $F_г$, а нагрузка на волнении может меняться от величины постоянной тяги на гаке $F_г$ до предельно допустимой нагрузки $P_{раз.шв} / 2$, то величина упругого удлинения примет вид:

$$_{\Delta}L = L_{шв}\sqrt{(P_{раз.шв} / 2 - F_{Г}) / (\alpha * P_{раз.шв})} \ . \qquad (27)$$

В данном случае $_{\Delta}L$ и будет и будет являться упругой игрой буксирной линии длиной $L_{шв}$, что отвечает решению задачи, когда по известным параметрам буксирной линии находится допустимая высота волны $h_в = _{\Delta}L_{шв}$.

При расчетах следует обратить внимание, что постоянно действующая нагрузка $F_г$ не должна превышать предельно допустимую величину для данной буксирной линии (как было описано в разделе 5.3). Это значит, что в формулах расчета упругого удлинения в качестве постоянной нагрузки $F_г$ принимается либо расчетная нагрузка при заданной скорости, либо предельно допустимая нагрузка для буксирной линии (смотря по тому, что меньше).

Для подбора длины буксирной линии по заданной высоте волны подставим $h_в$ вместо $_{\Delta}L$. Тогда искомая длина будет:

$$L_{шв} = \frac{h_в}{\sqrt{(P_{раз.шв} / 2 - F_{Г}) / (\alpha * P_{раз.шв})}} \qquad (28)$$

При использовании для буксировки связки из нескольких параллельных синтетических швартовных концов выражения (27) и (28) примут соответственно вид:

$$_{\Delta}L = L_{шв}\sqrt{(N * P_{раз.шв} / 2 - F_{Г}) / (N * \alpha * P_{раз.шв})}, \qquad (29)$$

и

$$L_{шв} = \frac{h_в}{\sqrt{(N * P_{раз.шв} / 2 - F_{Г}) / (N * \alpha * P_{раз.шв})}}. \qquad (30)$$

Итогом данного раздела КР должны стать обоснованные расчетами параметры однородной буксирной линии, изготовленной из швартовных тросов буксируемого судна. В данном случае речь идет о минимально необходимой длине, способной компенсировать расхождение судов на волнении.

5.4.2 определение параметров амортизатора, изготовленного из швартовных тросов, при использовании штатного буксирного троса

В случае изготовления комбинированной буксирной линии, состоящей из штатного буксирного троса и амортизатора, количество тросов в пучке должно иметь суммарную разрывную прочность $\sum \boldsymbol{P}_{раз.с.}$ не ниже разрывной прочности штатного буксирного троса $\boldsymbol{P}_{раз.ст.}$:

$$NP_{раз.шв} \geq P_{раз.ст}. \tag{31}$$

Исходя из этого количество тросов в пучке должно быть:

$$N \geq P_{раз.ст} / P_{раз.шв}. \tag{32}$$

Однако поскольку речь идет о расчете амортизирующей вставки, следует учесть, что частично расхождение судов на волнении будет компенсироваться игрой штатного буксирного троса. Высота волн, которая будет компенсироваться игрой штатного буксирного троса, была рассчитана в п. 5.3. Таким образом, для расчета длины синтетического амортизатора в качестве высоты волны, требующей компенсации, принимается величина превышения фактического волнения над величиной, допустимой для штатного буксирного троса:

$$h_{в.шв} = h_{в} - h_{в.ст} \tag{33}$$

Таким образом, для расчета минимально необходимой длины упругой вставки в качестве амортизатора следует преобразованную формулу (30), в которую вводятся параметры штатного буксира, как более слабого звена:

$$L_{шв} = \frac{h_{в.шв}}{\sqrt{(P_{раз.ст} / 2 - F_Г) / (N * \alpha * P_{раз.шв})}}, \quad (34)$$

где $h_{в.шв}$ - часть высоты волны, которую должен компенсировать амортизатор, м;

$P_{раз.ст}$ – разрывная прочность штатного буксира, кН;

$F_Г$ – допустимая нагрузка на штатный буксир, кН.

Итогом данного раздела КР должны стать обоснованные расчетами параметры амортизатора, изготовленного из швартовных тросов буксируемого судна, который может быть использован совместно со штатным буксирным тросом. В данном случае речь идет о минимально необходимой длине, способной компенсировать расхождение судов на волнении.

Кроме того, должна быть установлена максимально допустимая скорость для данной буксирной линии, соответствующая допустимой нагрузке на штатный буксир.

Приложение 1

Сборник индивидуальных заданий

№ пп	**Буксируемое судно** (исходные данные)	№ варианта	
		1	2
	Общие характеристики		
1	Длина по действующей ватерлинии, м	77	98,6
2	Ширина корпуса, м	14,6	16,2
3	Осадка средняя, м	5,5	4,9
4	Водоизмещение, т	3366	4954
5	Лобовая площадь парусности, м^2	118	158
6	Бортовая площадь парусности, м^2	377	482
7	Диаметр винта, м	3,6	3,1
8	Дисковое отношение	0,52	0,58
9	Винт застопорен-З, винт вращается-В	В.	З.
	Швартовые тросы:		
10	Длина, м	160	170
11	Разрывная прочность, кН	136	190
12	Материал	поли-эфир крученый 3-прядный	поли-пропи-лен крученый 3-прядный
	Штатный стальной буксирный трос		
13	Длина, м	190	190
14	Разрывная прочность, кН	342	531,8
	Погодные условия		
15	Скорость ветра, м/с	13	13,5
16	Волнение, м	2,8	2,9

Продолжение приложения 1

№ варианта						
№ пп	3	4	5	6	7	8
	Общие характеристики					
1	116,4	117,5	119,8	122	144	155
2	18	17,7	18	17,8	21,5	21
3	7,1	7,3	7,6	7,5	7,8	7,3
4	8904	9554	10004	9804	15734	15304
5	148	218	194	214	316	288
6	682	802	822	852	1032	1062
7	4,5	4,5	5,1	5,1	5,5	5,4
8	0,71	0,43	0,55	0,55	0,54	0,45
9	З.	В.	В.	В.	В.	З.
	Швартовые тросы:					
10	170	170	170	180	180	180
11	205	220	220	234	328	328
12	капрон плете-ный 8-прядный	поли-пропи-лен кру-ченый 3-прядный	капрон круче-ный 3-прядный	поли-пропи-лен кру-ченый 3-прядный	капрон круче-ный 3-прядный	поли-пропи-лен кру-ченый 3-прядный
	Штатный стальной буксирный трос					
13	190	190	190	200	200	200
14	531,8	642,6	642,6	642,6	896,2	896,2
	Погодные условия					
15	14	14,5	15	15,5	13	13,5
16	3	3,2	3,4	3,6	2,8	2,9

Продолжение приложения 1

№ варианта						
№ пп	9	10	11	12	13	14
	Общие характеристики					
1	164	77	98,6	116,4	117,5	119,8
2	25	14,6	16,2	18	17,7	18
3	7,6	5,5	4,9	7,1	7,3	7,6
4	21061	3366	4954	8904	9554	10004
5	392	118	158	148	218	194
6	1132	377	482	682	802	822
7	4,95	3,6	3,1	4,5	4,5	5,1
8	0,53	0,52	0,58	0,71	0,43	0,55
9	В.	В.	З.	З.	В.	В.
	Швартовые тросы:					
10	190	160	170	170	170	170
11	357	136	190	205	220	220
12	полиэфир крученый 3-прядный	капрон крученый 3-прядный	полипропилен крученый 3-прядный	капрон плетеный 8-прядный	полипропилен крученый 3-прядный	капрон крученый 3-прядный
	Штатный стальной буксирный трос					
13	220	190	190	190	190	190
14	1029	342	531,8	531,8	642,6	642,6
	Погодные условия					
15	14	14,5	15	15,5	13	13,5
16	3	3,2	3,4	3,6	2,8	2,9

Продолжение приложения 1

№ варианта						
№ пп	15	16	17	18	19	20
	Общие характеристики					
1	122	144	145,9	155	164	77
2	17,8	21,5	23,2	21	25	14,6
3	7,5	7,8	7,6	7,3	7,6	5,5
4	9804	15734	15115	15304	21061	3366
5	214	316	240	288	392	118
6	852	1032	992	1062	1132	377
7	5,1	5,5	4,7	5,4	4,95	3,6
8	0,55	0,54	0,72	0,45	0,53	0,52
9	З.	З.	З.	З.	З.	В.
	Швартовые тросы:					
10	180	180	180	180	190	160
11	234	328	328	328	357	136
12	полипропилен крученый 3-прядный	капрон крученый 3-прядный	полипропилен крученый 3-прядный	полиэфир плетеный 8-прядный	полиэфир крученый 3-прядный	капрон крученый 3-прядный
	Штатный стальной буксирный трос					
13	200	200	200	200	220	190
14	642,6	896,2	896,2	896,2	1029	342
	Погодные условия					
15	14	14,5	15	15,5	13	13,5
16	3	3,2	3,4	3,6	2,8	2,9

Продолжение приложения 1

№ варианта						
№ пп	21	22	23	24	25	26
	Общие характеристики					
1	98,6	116,4	117,5	119,8	122	144
2	16,2	18	17,7	18	17,8	21,5
3	4,9	7,1	7,3	7,6	7,5	7,8
4	4954	8904	9554	10004	9804	15734
5	158	148	218	194	214	316
6	482	682	802	822	852	1032
7	3,1	4,5	4,5	5,1	5,1	5,5
8	0,58	0,71	0,43	0,55	0,55	0,54
9	З.	З.	В.	В.	З.	З.
	Швартовые тросы:					
10	170	170	170	170	180	180
11	190	205	220	220	234	328
12	поли-пропи-лен кру-ченый 3-прядный	капрон плете-ный 8-прядный	поли-пропи-лен кру-ченый 3-прядный	капрон круче-ный 3-прядный	поли-пропи-лен кру-ченый 3-прядный	капрон круче-ный 3-прядный
	Штатный стальной буксирный трос					
13	190	190	190	190	200	200
14	531,8	531,8	642,6	642,6	642,6	896,2
	Погодные условия					
15	14	14,5	15	15,5	13	13,5
16	3	3,2	3,4	3,6	2,8	2,9

Продолжение приложения 1

№ варианта						
№ пп	27	28	29	30	31	32
	Общие характеристики					
1	145,9	155	164	77	98,6	116,4
2	23,2	21	25	14,6	16,2	18
3	7,6	7,3	7,6	5,5	4,9	7,1
4	15115	15304	21061	3366	4954	8904
5	240	288	392	118	158	148
6	992	1062	1132	377	482	682
7	4,7	5,4	4,95	3,6	3,1	4,5
8	0,72	0,45	0,53	0,52	0,58	0,71
9	З.	З.	З.	В.	З.	З.
	Швартовые тросы:					
10	180	180	190	160	170	170
11	328	328	357	136	190	205
12	полипропилен крученый 3-прядный	полиэфир плетеный 8-прядный	полиэфир крученый 3-прядный	капрон крученый 3-прядный	полипропилен крученый 3-прядный	капрон плетеный 8-прядный
	Штатный стальной буксирный трос					
13	200	200	220	190	190	190
14	896,2	896,2	1029	342	531,8	531,8
	Погодные условия					
15	14	14,5	15	15,5	13	13,5
16	3	3,2	3,4	3,6	2,8	2,9

Продолжение приложения 1

№ варианта						
№ пп	33	34	35	36	37	38
	Общие характеристики					
1	117,5	119,8	122	144	145,9	155
2	17,7	18	17,8	21,5	23,2	21
3	7,3	7,6	7,5	7,8	7,6	7,3
4	9554	10004	9804	15734	15115	15304
5	218	194	214	316	240	288
6	802	822	852	1032	992	1062
7	4,5	5,1	5,1	5,5	4,7	5,4
8	0,43	0,55	0,55	0,54	0,72	0,45
9	В.	В.	З.	З.	З.	З.
	Швартовые тросы:					
10	170	170	180	180	180	180
11	220	220	234	328	328	328
12	полипропилен крученый 3-прядный	капрон крученый 3-прядный	полипропилен крученый 3-прядный	капрон крученый 3-прядный	полипропилен крученый 3-прядный	полиэфир плетеный 8-прядный
	Штатный стальной буксирный трос					
13	190	190	200	200	200	200
14	642,6	642,6	642,6	896,2	896,2	896,2
	Погодные условия					
15	14	14,5	15	15,5	13	13,5
16	3	3,2	3,4	3,6	2,8	2,9

Приложение 2

Характеристики судов, из которых выбирается буксировщик

№ пп	***Технические характеристики***	**Буксировщик №**				
		1	2	3	4	5
1	Длина по действующей ватерлинии, м	75	105	114	150	168
2	Ширина корпуса, м	15,0	17,4	16,1	20,0	23,8
3	Осадка средняя, м	5,9	5,6	7,07	7,0	8,9
4	Водоизмещение, т	4059	7160	9430	15300	26500
5	Лобовая площадь парусности, $м^2$	150	230	180	320	430
6	Бортовая площадь парусности, $м^2$	320	750	860	1650	2100
7	Мощность двигателя, эффективная, кВт	2600	2540	3680	3940	4595
8	Обороты винта, об/мин	160	170	115	83	115
9	Диаметр винта, м	3,8	3,8	4,7	5,2	5,4
10	Шаг винта, м	2,7	2,7	4,45	5,4	4,0

Приложение 3

Характеристики стальных буксирных тросов (ГОСТ 3083 – 66)

№ пп	Диаметр, мм		Площадь сечения каната, мм^2	Линейная плотность, кг/м	Разрывное усилие не менее, кН
	каната	проволоки			
1	19,0	1,00	113,04	1,155	131,4
2	22,5	1,20	162,72	1,165	189,3
3	24,5	1,30	191,09	1,955	222,7
4	26,0	1,40	221,75	2,265	258,5
5	28,0	1,50	253,44	2,590	295,3
6	30,0	1,60	289,44	2,955	337,5
7	32,0	1,70	326,88	3,340	381,1
8	33,5	1,80	365,76	3,735	446,4
9	37,5	2,00	452,16	4,620	527,8
10	41,0	2,20	547,20	5,590	638,6
11	45,0	2,40	650,88	6,650	759,3
12	48,5	2,60	764,64	7,810	892,2
13	52,0	2,80	885,60	9,045	1025,1
14	56,0	3,00	1018,08	10,400	1187,0
15	60,0	3,20	1156,12	11,820	1348,9
16	65,0	3,40	1307,40	13,348	1525,5

Приложение 4
Пример оформления титульного листа курсовой работы

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

«Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет»

(ФГБОУ ВО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»)

Кафедра «Судовождение»

Курсовая работа
по дисциплине
«Маневрирование и управление судном»

Тема: Аварийная буксировка судна
(вариант № ___)

Проверил:
доцент _____ В.В. Ганнесен
(подпись, дата)

Выполнил:
студент учеб. гр. СВс-512 _____ И.И. Петров
(подпись, дата)

Владивосток 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. (ПДНВ-78) с поправками по 2015 г. Спб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2002. -600 с.

2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 26.05.05. судовождение (квалификация (степень) «специалист»).
URL: http://www.edu.ru/db/mo/Data/d_10/prm2056-1.pdf

3. Снопков В.И. Управление судном. Учебник для ВУЗов. 3-е изд., перераб. и доп. - С-Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. -536 с.

4. Правила классификации и постройки морских судов. Том-1. Спб.: Морской Регистр Судоходства, 2015. -580 с.
URL: http://www.rs-class.org/upload/iblock/f9f/2-020101-082(T1).pdf