

УДК 629.12.01.001.2.004.12(04)
А 47

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ В ХОДОВОМ КОНЦЕ ТРОСА ЛИНЕМЁТНОГО УСТРОЙСТВА

*Алексенко В.Л., Исаев Е.А.,
Вуз «Херсонский государственный морской институт»,
Сулов В.П.,*

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

Предложена инженерная методика определения усилий в ходовом конце троса линемётного устройства на начальном участке траектории. Приведены результаты исследовательских расчётов.

Ключевые слова: линемет, расчет усилий.

Введение. Для передачи с судна толстого тяжелого швартова на берег, причал или другое судно один конец бросательного конца ввязывается в огон швартова, а к другому привязывается лёгкость (колотуша) – мешочек наполненный песком. Передача бросательного конца производится следующим образом: матрос, находящийся на борту судна, набрав в левую руку несколько шлагов (петель) бросательного конца, правой рукой раскручивает конец с лёгкостью и бросает его на причал. Там, приняв бросательный конец, тянут его к себе и таким образом перетягивают швартов на причал. Изготовление и использование бросательного конца никаких расчётов, кроме хорошей морской практики, не требуют.

Для забрасывания линя или прочного троса на большие расстояния при проведении аварийно-спасательных или других работ применяют специальные мортирки: небольшие короткоствольные пушки – линемёты, использующие для забрасывания ходового конца, как энергию пиропатрона, так и пневматический или реактивный (ракета) принципы. Проектирование подобной артсистемы требует выполнения значительного объёма динамических расчетов, в том числе прочности ходового конца линя и его соединения со снарядом.

Актуальность исследований. Особенностью расчета динамической системы снаряд-трос является действие короткого импульса, подобного приведенному на осциллограмме (рисунок 1), полученной авторами при испытаниях мощного устройства подобного типа.

Справочники и исследования [1-4] по деформируемым и недеформируемым сплошным гибким нитям ориентированы на якорно-швартовные устройства и не содержат методик пригодных для определения максимальных усилий в ходовом конце линя.

Постановка задачи. Ниже предлагается инженерная методика определения расчётного максимального усилия в ходовом конце,

возникающего на начальном участке траектории в период действия пневматического или пиротехнического заряда.

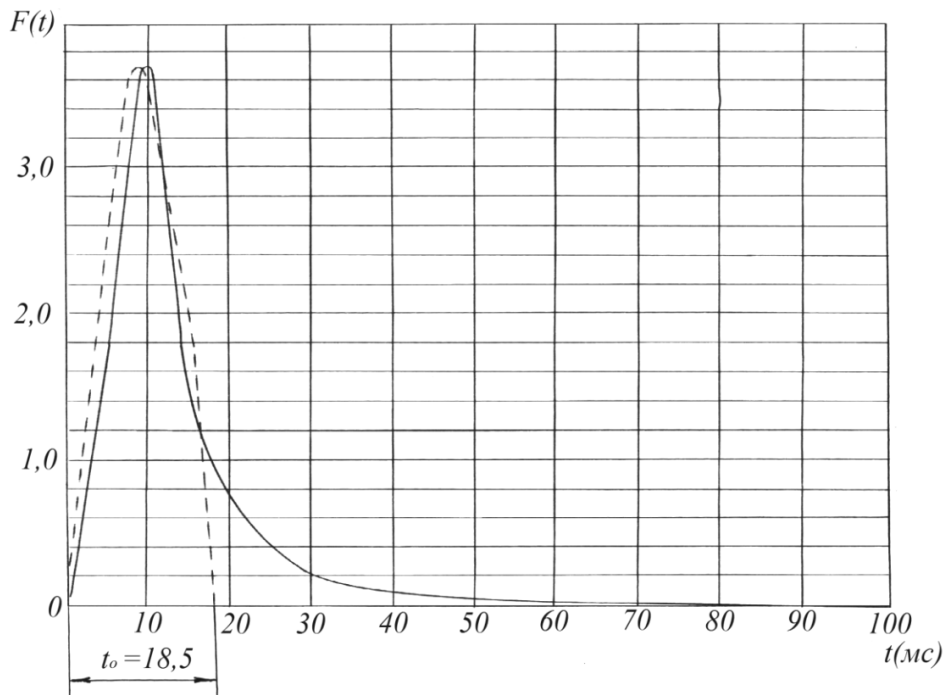


Рисунок 1 – Зависимость движущей силы от времени

Для нахождения усилия, возникающего в точке крепления линя к снаряду $S(t)$ можно применить приближенный метод, если выполняются следующие условия:

- уложенный в кассету линь имеет прямолинейный ходовой конец длиной h и первый шаг H , как показано на рисунке 2 ;

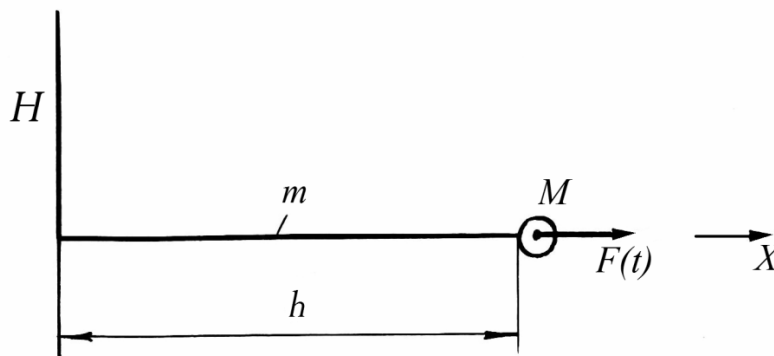


Рисунок 2 – Упрощенная расчетная схема укладки линя

- вовлечение дополнительных участков линя на пути H происходит непрерывно;

- масса линя, вовлекаемая в движение в рассматриваемый отрезок времени, значительно меньше массы M снаряда, т.е. $m(H+h) \ll M$, где m – погонная масса троса;

- линейная деформация линя слабо влияет на изменение усилия $S(t)$, что будет иметь место, если период низшей формы собственных колебаний системы «снаряд-лечь» рассматриваемой как свободная (незакрепленная) система, значительно больше времени нарастания усилия $F(t)$;

- реальный импульс движущей силы (рисунок 1) с приемлемой точностью аппроксимируется синусоидальным той же амплитуды F_a (пунктир)

$$F(t) = F_a \sin \pi t / t_0 \quad 0 \leq t \leq t_0 \quad (1)$$

$$F(t) = 0 \quad t > t_0$$

Основная часть. Исходные данные:

M – масса снаряда;

m – погонная масса линия;

h – начальный прямой участок линия;

$F(t)$ - усилие, действующее на снаряд на активном участке траектории.

Учитывая указанные выше условия, можно считать, что ускорение снаряда $a(t)$ определяется только силой $F(t)$, т.е. пренебрегать влиянием силы $S(t)$, что приведет к некоторому превышению $a(t)$, а следовательно и $S(t)$, т.е. с ошибкой в безопасную сторону

$$a(t) = F(t) / M. \quad (2)$$

Такие же ускорения и соответствующие скорости будут иметь все вовлеченные в движение элементы линия. Усилие $S(t)$ будет определяться суммой сил инерции вовлеченной в движение части троса, а также дополнительного усилия $\Delta S(t)$, необходимого, чтобы сообщать заданную (мгновенную) скорость, непрерывно вовлекаемым в движение его элементам.

$$S(t) = a(t)(mh + \Delta M) + \Delta S(t), \quad (3)$$

где

$$\Delta M = \int_0^t m v(t); \quad v(t) = \int_0^t a(t) dt$$

или

$$\Delta M = m \int_0^t \int_0^t a(t) dt^2 .$$

Дополнительное усилие $\Delta S(t)$ определяется из условия, что за время Δt элемент линия, имеющий массу $mdx = mv(t)dt$, получает скорость $v(t)$, т.е. количество движения, равное $mv^2(t)dt$. Следовательно:

$$\Delta S(t) \Delta t = mv^2(t) \Delta t,$$

откуда

$$\Delta S(t) = mv^2(t) \quad (3)$$

Учитывая полученные зависимости, окончательно можно записать

$$S(t) = \frac{mh}{M} \left\{ F(t) \left[I + \frac{I}{hM} \int_0^t \int_0^t F(t) dt^2 \right] + \frac{I}{hM} \left[\int_0^t F(t) dt \right]^2 \right\} \quad (4)$$

Время t изменяется в пределах $0 \leq t \leq t_{max}$, где t_{max} определяется из условия

$$\int_0^{t_{max}} \int_0^{t_{max}} a(t) dt^2 = H \quad (5)$$

Формулу (4) можно применять для определения усилия в любом сечении троса $S(x, t)$, где x – расстояние рассматриваемого сечения от точки крепления. При этом вместо h необходимо в (4) подставить величину $(h - x)$.

Максимальное растягивающее усилие в лине возникает в точке его крепления к снаряду с некоторым запаздыванием по отношению к моменту максимального значения силы $F(t)$.

Аппроксимируя движущую силу $F(t)$ формулой (1) приходим к следующим выражениям для усилия

$$\bar{S} = \frac{mh}{M} \left[\left(1 + \frac{u}{h} \right) \sin \frac{\pi t}{t_0} + \frac{M}{F_a h} \dot{u}^2 \right], \quad (6)$$

а также скорости перемещения ходового конца

$$\dot{u} = \beta \left(1 - \cos \frac{\pi t}{t_0} \right), \quad (7)$$

$$u = \beta \left(t - \frac{t_0}{\pi} \sin \frac{\pi t}{t_0} \right), \quad (8)$$

где

$$\bar{S}(t) = \frac{S(t)}{F_a}; \beta = F_a t_0 / (M \pi). \quad (9)$$

Поскольку аналитическое отыскивание экстремума функции (6) связано с нахождением корня трансцендентного уравнения, рекомендуется максимальное усилие в лине определять непосредственным вычислением ряда значений $\bar{S}(t)$ в интервале $(0, t_0)$.

В таблице 1 даны результаты вычислений по формулам (6) – (9) для двух синусоидальных импульсов движущей силы. Варьируется тип троса и длина ходового конца. Вычисления заканчиваются, когда снаряд проходит дульный срез ($u = 1\text{м}$). Газы при этом устремляются в окружающую среду, и давление на снаряд резко падает. Усилие в ходовом конце начинает уменьшаться в связи с торможением.

Рекомендации по практической методике расчёта. Расчёт прочности линия включает следующие этапы:

- 1 Определение параметров импульса движущей силы.
- 2 Вычисление наибольшего усилия в ходовом конце линия.
- 3 Сравнение наибольшего усилия с разрывным.

Таблиця 1 – Параметри руху і зусилля на ходовому кінці лінії

$F_a = 3,7 \cdot 10^6 \text{ Н}; t_0 = 0,0185 \text{ с}$							
$\frac{t}{t_0}$	$10^{-6} F(t)$ (Н)	\dot{u} (м/с)	u (м)	$M/m=97,4\text{м.}$		$M/m=33,3\text{м.}$	
				$10^2 \cdot \bar{S}(t)$	$10^2 \cdot \check{S}(t)$	$10^2 \cdot \bar{S}(t)$	$10^2 \cdot \check{S}(t)$
I	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	-	0	-
0,1	1,14	8,20	$5,08 \cdot 10^{-3}$	0,321	1,04	0,939	3,04
0,2	2,17	32,0	$4,00 \cdot 10^{-2}$	0,665	1,13	1,94	3,30
0,3	2,99	69,1	0,132	1,11	1,38	3,25	4,02
0,4	3,52	116,0	0,302	1,76	1,85	5,13	5,39
0,5	3,7	168,0	0,563	2,62	2,62	7,65	7,65
0,6	3,52	219,0	0,922	3,61	3,80	10,6	11,1
0,619	3,44	229,0	1,00*	3,80	4,08	11,1	11,9
$F_a = 1,91 \cdot 10^6 \text{ Н}; t_0 = 0,031 \text{ с}$							
0	0	0	0	0	-	0	-
0,1	0,590	7,10	$7,36 \cdot 10^{-3}$	0,323	1,05	0,944	3,06
0,2	1,12	27,7	$5,80 \cdot 10^{-2}$	0,692	1,18	2,02	3,44
0,3	1,55	59,8	0,191	1,24	1,53	3,62	4,47
0,4	1,82	100,0	0,437	2,11	2,21	6,15	6,47
0,5	1,91	145,0	0,917	3,34	3,34	9,74	9,74
0,538	1,90	162,0	1,00*	3,88	3,91	11,3	11,4
$F_a = 3,7 \cdot 10^6 \text{ Н}; t_0 = 0,0185 \text{ с};$							
0	0	0	0	0	-	0	-
0,1	1,14	8,20	$5,08 \cdot 10^{-3}$	0,163	0,527	0,475	1,54
0,2	2,17	32,0	$4,00 \cdot 10^{-2}$	0,363	0,617	1,06	1,80
0,3	2,99	69,1	0,132	0,697	0,862	2,04	2,52
0,4	3,52	116,0	0,302	1,27	1,33	3,70	3,89
0,5	3,70	168,0	0,563	2,11	2,11	6,15	6,15
0,6	3,52	219,0	0,922	3,13	3,29	9,13	9,60
0,619	3,44	229,0	1,00*	3,32	3,56	9,71	10,4
$F_a = 1,91 \cdot 10^6 \text{ Н}; t_0 = 0,031 \text{ с};$							
0	0	0	0	0	-	0	-
0,1	0,590	7,10	$7,36 \cdot 10^{-3}$	0,165	0,532	0,481	1,56
0,2	1,12	27,7	$5,80 \cdot 10^{-2}$	0,390	0,664	1,14	1,94
0,3	1,55	59,8	0,191	0,824	1,02	2,41	2,97
0,4	1,82	100,0	0,437	1,62	1,70	4,72	4,97
0,5	1,91	145,0	0,817	2,82	2,82	8,24	8,24
0,538	1,90	162,0	1,00*	3,37	3,40	9,86	9,93

*) пройдений шлях дорівнює довжині стовпа, тиск на торці толкателя падає на декілька порядків.

Первый пункт является задачей внутренней баллистики. Предполагается, что закон движущей силы во времени установлен экспериментально или рассчитывается по специальной методике.

Второй этап рекомендуется выполнить по методике приведенной выше, что, как показали исследования с уточнёнными расчётными схемами, обеспечивает приемлемую для практики точность.

В особых случаях, когда, например, необходимо оценить тот или иной вариант укладки линия в кассету, рекомендуется детально проанализировать движение рассматриваемой системы с помощью алгоритма предложенного авторами в работе [5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Судовые устройства : Справочник / [Под ред. М. Н. Александрова] – Л : Судостроение, 1987. – 656 с.
2. Циммерман Г. Г. Численная модель динамики якорной цепи. // Совершенствование судовых устройств и гибких конструкций : сб. научн. тр. – Николаев : НКИ, 1986. – С. 102-115.
3. Шапиро Л. Г. Расчёт якорной системы плавучего сооружения с учётом растяжения связей // Судостроение. – 1986. – №3. – С. 12-13.
4. Берто Г. О. Океанографические буи. – Л. : Судостроение, 1967.
5. Исследование вопросов взаимодействия внешних и внутренних сил, действующих на гидродинамический тормоз якорного устройства и разработка методик расчёта прочности : Ч. 2. – Николаев, 1987. – Технический отчёт НИР по договору 2.1.Пр. 873, № гос. рег. 01.87.0 016822 (заключительный)

Алексенко В.Л., Исаев Є.О., Суслов В.П. ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ В ХОДОВОМУ КІНЦІ ТРОСА ЛІНЕМЕТНОГО ПРИСТРОЮ
Запропоновано інженерну методику визначення зусиль у ходовому кінці троса лінеметного пристрою на початковій ділянці траєкторії. Наведено результати дослідницьких розрахунків.
Ключові слова: лінемет, розрахунок зусиль.

Aleksenko V.L., Isaev E.A., Suslov V.P. ON DETERMINATION OF FORCE IN NAVIGATING THE END OF THE TETHER LINETHROWING GUN DEVICE
An engineering method of determining force in running the end of the tether line-throwing gun device in the initial trajectory is proposed. The results of the research calculations are given.
Key words: linimet, calculation of force.