

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Океанотехника и кораблестроение»

Т.Л. Чемакина

ГРУЗОВОЕ УСТРОЙСТВО

Методические указания

к выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине « Общесудовые системы и устройства»
для студентов направления
26.03.02 «Кораблестроение, океанотехника
и системотехника объектов морской инфраструктуры»
и специальности 26.05.01 «Проектирование и постройка кораблей,
судов и объектов океанотехники»
всех форм обучения

Севастополь

СевГУ

2020

УДК 629.5.065.2
ББК 39.45я73
Ч-42

Р е ц е н з е н т:

В.С. Игнатович – канд. техн. наук, доцент кафедры ОиК

Чемакина Т.Л.

Ч-42 Грузовое устройство : методические указания к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Общесудовые системы и устройства» для студентов направления 26.03.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры» и специальности 26.05.01 «Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники» всех форм обучения / Т.Л. Чемакина ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет. – Севастополь : СевГУ, 2020. – 31 с.: ил. – Текст: электронный.

Целью настоящих методических указаний является оказание методической помощи студентам при выполнении расчетно-графической работы по дисциплине «Общесудовые устройства и системы» («Общесудовые устройства»).

УДК 629.5.065.2
ББК 39.45я73

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Океанотехника и кораблестроение», протокол № 8 от 26 мая 2020 г.

© Чемакина Т.Л., 2020
© ФГАОУВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Определение геометрических характеристик грузового устройства со стрелами	6
2. Определение длины стрелы при одиночной и спаренной работе стрел.....	8
3. Определение длины стрелы при работе четырех стрел	10
4. Определение усилий, действующих в стрелах и их оснастке при одиночной работе	12
5. Определение грузоподъемности линии стрел при спаренной работе	14
6. Определение истинного натяжения в контроттяжках.....	16
7. Выбор грузовых стрел. Расчет стрелы на устойчивость	21
8. Выбор грузовых стрел. Расчет стрелы на прочность	26
Библиографический список.....	28
ПРИЛОЖЕНИЕ А	29
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	31

ВВЕДЕНИЕ

Грузовые устройства служат для выполнения на судах погрузочных и разгрузочных операций судовыми средствами.

Эти устройства приспособлены для грузовых операций с генеральными, сыпучими или жидкими грузами. Экономически выгодно грузовые операции на судах производить развитыми и мощными портовыми средствами, однако иногда судам приходится грузовые операции совершать на рейде или на промысле, в открытом море, или даже и в порту, где портовые средства использовать нецелесообразно. Для этих случаев каждое судно должно иметь собственное грузовое устройство [5].

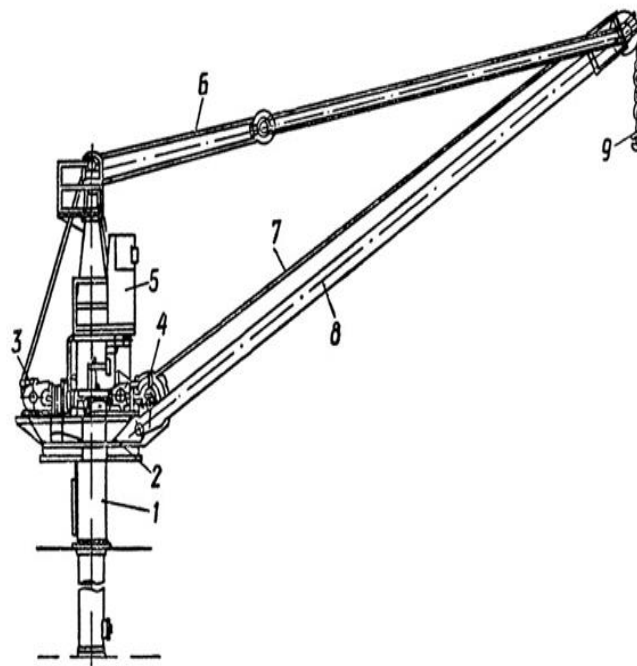


Рисунок 1 – Судовой грузовой кран:

1 – колонка; 2 – поворотная площадка с механизмами; 3 – механизм изменения вылета стрелы; 4 – механизм подъема и опускания груза; 5 – кабина поста управления; 6 – оттяжка стрелы; 7 – грузовой шкентель; 8 – стрела; 9 – гак с противовесом

Грузовые краны. На многих грузовых и пассажирских судах устанавливают грузовые краны. На судах краны могут быть стационарными поворотными, перемещающимися поворотными и мостовыми с выдвижной консолью. Основными преимуществами кранов по сравнению со спаренными грузовыми стрелами являются их сравнительно небольшие размеры, быстрота действия, постоянная готовность к действию, возможность поворота стрелы с грузом на 360 градусов и удобство обслуживания. К недостаткам судовых грузовых кранов следует отнести ограниченную грузоподъемность и «чувствительность» к крену.

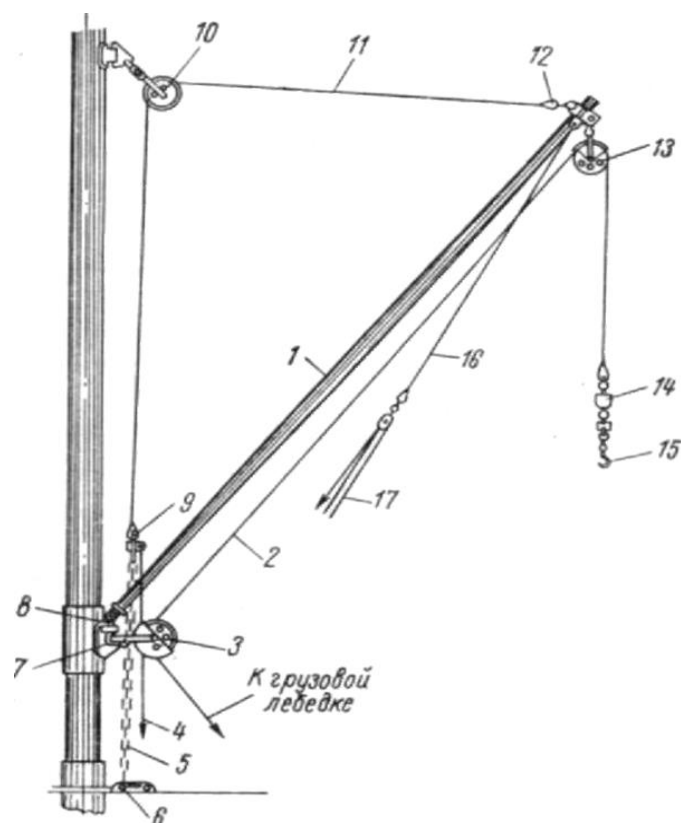


Рисунок 2 – Грузовое устройство со стрелой:

- 1 — стрела; 2 — шкентель; 3 — направляющий блок; 4 — переменный топенант;
 5 — постоянный топенант; 6 — палубная скоба; 7 — башмак шпора; 8 — вертлюг шпора;
 9 — тройник; 10 — топенантный блок; 11 — топенант; 12 — обух пока; 13 — грузовой лок;
 14 — противовес; 15 — грузовой гак; 16 — оттяжка; 17 — тали оттяжки

Грузовое устройство со стрелами. Основные элементы такого устройства:

- мачты или грузовые колонны, которые служат опорой для стрел (на некоторых судах опорой может являться лобовая переборка надстройки);
- грузовые стрелы с такелажем и оборудованием для проводки и крепления такелажа;
- грузовые лебедки;
- грузовые помещения (трюмы и твиндеки) с соответствующим закрытием грузовых люков.

Методические указания посвящены расчету грузового устройства при конструировании судовых стрел и расчете усилий при работе спаренных стрел и могут быть использованы студентами дневной формы обучения при выполнении расчетно-графической работы по дисциплине «Общесудовые системы и устройства». Решение должно сопровождаться краткими пояснениями.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУЗОВОГО УСТРОЙСТВА СО СТРЕЛАМИ

1.1. Расстояние от шпора стрелы, м, до поперечного комингса люка l_0 , (включает в себя рабочий проход между мачтой и лебедкой, равный 0.9...1.0 м., длину лебедки, и расстояние от наиболее выступающей части лебедки, до комингса люка равное (0.45 ... 0.5 м):

$$l_0 = 0,9 + a + (0,45...0,5), \quad (1)$$

где a – длина лебедки, м (Приложение А).

1.2. Расстояние от шпора стрелы до диаметральной плоскости судна – y , м. Это расстояние выбирается в зависимости от типа мачты.

У одиночных мачт $y = 2...3$ м. Грузовые колонки и порталные мачты имеют между осями расстояние $y = 6...8$ м. Таким образом, расстояние y может быть увеличено до 3 или 4 м.

1.3. Возвышение шпора стрелы над палубой h_0 устанавливается из условия удобства работы около стрелы, для чего эту величину на морских судах принимают не менее 2.25...2.5 м для легких стрел.

1.4. Минимальный угол наклона стрелы в рабочем положении к горизонту (т.е. над палубой) α , устанавливается из того, чтобы нок стрелы находился на расстоянии не менее $2/3$ длины люка от комингса, ближайшего к мачте, и возвышался при этом не менее 4...5 м, над комингсом люка или над фальшбортом.

1.5. Минимальное возвышение нока стрелы в рабочем положении над палубой – h , м.

$$h = h_1 + (4...5), \quad (2)$$

где $h_1 = 0,75...1,1$ м – высота комингса люка (м) или фальшборта.

1.6. Расстояние нока стрелы от поперечного комингса при минимальном угле наклона стрелы к горизонту равно

$$l_1 = \frac{2}{3} l_n, \quad (3)$$

где l_n – длина грузового люка, м.

1.7. Минимальный угол наклона стрелы, град., должен быть достаточным для безопасного переноса груза над фальшбортом. Гак должен возвышаться над фальшбортом не менее, чем на 4 м; это выполняется при угле наклона не менее 15° .

При спаренной работе стрел, угол наклона бортовой стрелы может быть менее $15...20^\circ$.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{h - h_0}{l_0 + l_1}\right). \quad (4)$$

1.8. Предельный угол поворота стрелы в горизонтальной плоскости, φ , в первом приближении может быть принят в пределах $40 \dots 60^\circ$.

1.9. Максимальный вылет стрелы за борт **b**

Минимальный вылет стрелы за борт составляет $2 \dots 2,5$ м.

Нормальный вылет, обеспечивающий погрузку грузов в железнодорожные вагоны, стоящие на первом пути, должен составлять $4,5 \dots 5$ м.

Индивидуальные задания – главные размерения и основные характеристики судна, для которого производятся расчеты, студент выбирает для конкретного архитектурно-конструктивного типа судна по указанию преподавателя из таблиц Б.1, Б.2.

Контрольные вопросы к разделу 1

1. Что такое шпор стрелы?
2. Что такое комингс люка?
3. Что такое нок стрелы?
4. Что такое порталные мачты?
5. Какие стрелы называются легкими?
6. Какие стрелы называются тяжеловесами?
7. Что такое фальшборт?
8. Какие существуют типы мачт, их отличия?
9. Как определяется минимальный угол наклона стрелы в рабочем положении к горизонту?

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СТРЕЛЫ ПРИ ОДИНОЧНОЙ И СПАРЕННОЙ РАБОТЕ СТРЕЛ

2.1. Определение длины стрелы при одиночной работе, м:

$$L = \frac{0.5 \cdot B + b - y}{\cos \alpha \cdot \sin \varphi}, \quad (1)$$

где B – ширина судна, м;

b – максимальный вылет стрелы за борт, м;

α – минимальный угол наклона стрелы, град.;

φ – предельный угол поворота стрелы в горизонтальной плоскости, град.

2.2. Определение длины стрелы при спаренной работе, м.

В случае спаренной работы легких стрел, их длина уточняется следующим способом:

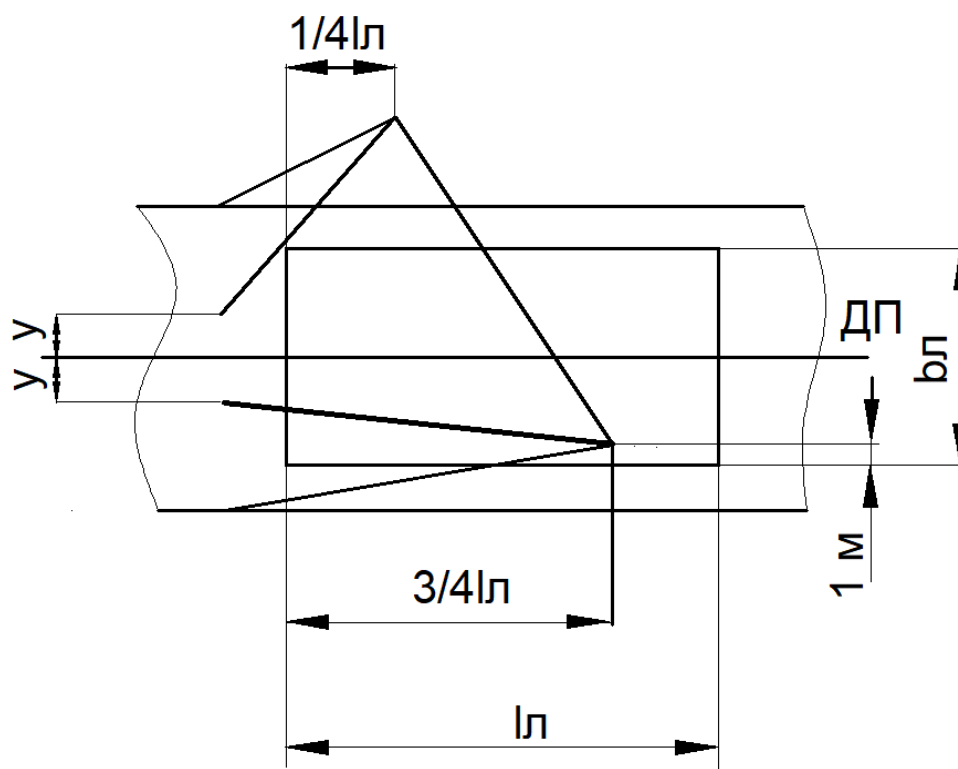


Рисунок 3 - Схема установки над люком двух стрел

При установке над люком двух стрел, нок береговой стрелы должен перекрывать длину люка на $\frac{1}{4} l_{\text{л}}$ и обеспечивать вылет за борт не менее 4 м, а нок трюмной стрелы должен перекрывать люк на $\frac{3}{4}$ его длины и отстоять от ближайшего продольного комингса на расстоянии 1 м.

В соответствии с геометрическим построением, расстояние между нокми стрел, м, в плане можно вычислить по формуле

$$W = \sqrt{\left(\frac{B}{2} + \frac{b_{\text{л}}}{2} + 3\right)^2 + \frac{l_{\text{л}}^2}{4}}. \quad (2)$$

2.3. Длина проекции трюмной стрелы на горизонтальную плоскость, м

$$L'_T = \sqrt{\left(l_0 + \frac{3}{4}l_x\right)^2 + \left(\frac{bл}{2} - y - 1\right)^2}. \quad (3)$$

2.4. Длина проекции береговой стрелы на горизонтальную плоскость, м

$$L'_B = \sqrt{\left(l_0 + \frac{l_x}{4}\right)^2 + \left(\frac{B}{2} - y + 4\right)^2}. \quad (4)$$

2.5. Возвышение нока стрелы над палубой, м, определяется по формуле при грузоподъемности стрелы ≤ 2 т.

$$h = h_l + 4,0 + 0,3W, \quad (5)$$

при грузоподъемности стрелы > 2 т

$$h = h_l + 5,0 + 0,3W.. \quad (6)$$

2.6. Длина стрелы, м, вычисляется по формулам

- трюмная:

$$L_m = \sqrt{(L'_m)^2 + (h - h_0)^2}, \quad (7)$$

- береговая:

$$L_o = \sqrt{(L'_o)^2 + (h - h_0)^2}, \quad (8)$$

Так как длины стрел одного судна должны быть одинаковыми, длина стрелы округляется до ближайшего большего целого числа.

2.7. Длина одиночной стрелы, м, вычисляется по формуле

$$L = \sqrt{(L')^2 + (h - h_0)^2}. \quad (9)$$

Контрольные вопросы к разделу 2

1. Что такое шпор стрелы?
2. Что такое комингс люка?
3. Что такое нок стрелы?
4. Что такое грузовые колонки?
5. Что такое порталы мачты?
6. Какие стрелы называются легкими?
7. Какие стрелы называются тяжеловесами?
8. Что такое фальшборт?
9. Какие существуют типы мачт, их отличия?
10. Как определяется минимальный угол наклона стрелы в рабочем положении к горизонту?

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СТРЕЛЫ ПРИ РАБОТЕ ЧЕТЫРЕХ СТРЕЛ

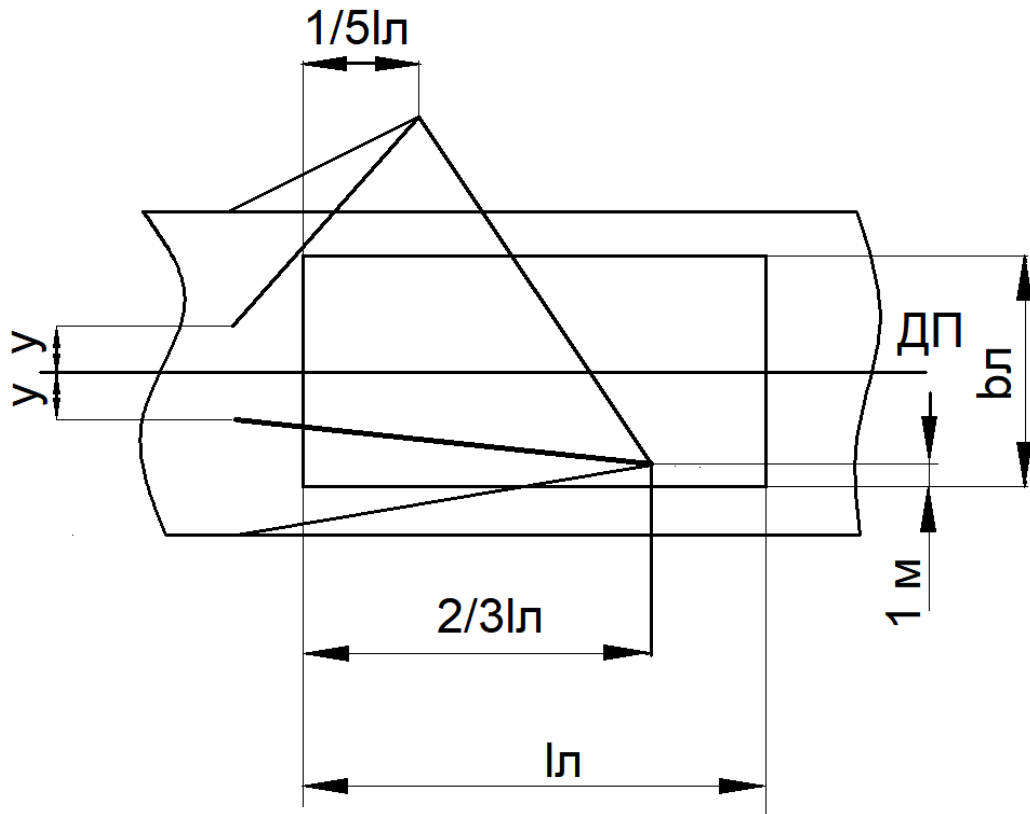


Рисунок 4 - Схема установки над люком четырех стрел

При установке над люком четырех стрел, нок береговой стрелы должен перекрывать длину люка на $1/5 l_{\text{л}}$ и обеспечивать вылет за борт 4 м, а нок трюмной стрелы должен перекрывать люк на $2/3$ его длины и отстоять от комингса на расстоянии 1 м.

В соответствии с геометрическими построениями, расстояние между ноками стрел в плане, м, выражается зависимостью

$$W = \sqrt{\left(\frac{B}{2} + \frac{b_{\text{л}}}{2} + 3\right)^2 + \frac{49}{225} l_{\text{л}}^2}. \quad (1)$$

Длина проекции трюмной и береговой стрел на горизонтальную поверхность, м, будет соответственно, определяться по формулам

$$L_m = \sqrt{\left(l_0 + \frac{2}{3} l_{\text{л}}\right)^2 + \left(\frac{t}{2} - y - 1\right)^2}, \quad (2)$$

$$L_{\text{б}} = \sqrt{\left(l_0 + \frac{1}{5} l_{\text{л}}\right)^2 + \left(\frac{B}{2} - y + 4\right)^2}. \quad (3)$$

Возвышение нока стрел над палубой, м, определяется по формуле
- при грузоподъемности стрелы ≤ 2 т

$$h = h_l + 4,0 + 0,3W, \quad (4)$$

- при грузоподъемности стрелы > 2 т

$$h = h_l + 5,0 + 0,3W. \quad (5)$$

Длина стрелы, м, определяется по формуле

$$L = \sqrt{(L')^2 + (h - h_0)^2}. \quad (6)$$

Возвышение подвески обуха топенантного блока над упором стрелы **H** принимается в зависимости от высоты мачт или грузовых колонок.

Если легкая стрела закреплена на грузовой колонке, то

$$H = (0,4 \dots 0,6)L. \quad (7)$$

Для морских судов, высота мачт которых не ограничена,

$$H = (0,8 \dots 1,2)L. \quad (8)$$

У речных судов высота мачт, м, обычно лимитируется с целью прохода судна под мостами

$$H = (0,5 \dots 0,8)L. \quad (9)$$

Для стрел-тяжеловесов

$$H = (0,9 \dots 1,2)L. \quad (10)$$

Следует отметить, что при уменьшении H/L увеличивается сжимающее усилие в стреле и натяжение топенанта.

Контрольные вопросы к разделу 3

1. Что такое обух?
2. Что такое топенантный блок?
3. Что такое шпор стрелы?
4. Написать формула для определения длины проекции трюмной стрелы на горизонтальную поверхность.
5. Написать формула для определения длины проекции береговой стрелы на горизонтальную поверхность
6. Что такое нок стрелы?
7. Что такое порталные мачты?
8. Какие стрелы называются легкими?
9. Какие стрелы называются тяжеловесами?

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В СТРЕЛАХ И ИХ ОСНАСТКЕ ПРИ ОДИНОЧНОЙ РАБОТЕ

Расчет может быть произведен как графическим, так и аналитическим путем:

4.1. На начальных стадиях проектирования массу стрелы рекомендуется определять по следующим приближенным формулам:

№ п/п	Грузоподъемность стрелы, т	Масса стрелы в зависимости от ее длины, т
1	1...3	$G = 0,065(L-4,5)$
2	4.....8	$G = 0,080(L-4,5)$
3	9.....15	$G = 0,115(L-4,5)$

Если стрела оборудована грейфером, то его масса добавляется к общей массе стрелы.

4.2. Определение натяжения грузового шкентеля S , вычисляется в зависимости от вида грузовых талей.

Если стрела оснащена одношкивным грузовым блоком, напряжение шкентеля за блоком, кг.

$$S = k \cdot G, \quad (2)$$

где G – грузоподъемность стрелы, кг,

$$k = 1 + \mu,$$

где μ – коэффициент трения шкентеля по шкиву.

Для стального троса и шкива с подшипниками скольжения $\mu = 0,05$, с подшипниками качения $\mu = 0,02$, при использовании растительных тросов $\mu = 0,1$.

Натяжение грузового шкентеля, кг, за грузовым и направляющим блоками (перед барабаном лебедки) вычисляется по формуле

$$S_2 = k^2 \cdot G. \quad (3)$$

Если в оснастке грузового устройства применяются тали, то натяжение шкентеля, кг, за таями зависит от того, сбегает он с неподвижного блока или с подвижного. В первом случае натяжение шкентеля определяется по формулам:

- при подъеме груза

$$S = G \cdot \frac{k^n(k-1)}{k^n - 1}, \quad (4)$$

- при опускании груза

$$S = G \cdot \frac{k-1}{k \cdot (k^n - 1)}, \quad (5)$$

где n – суммарное количество шкивов в обоих блоках (таблица А.2) .

Во втором случае натяжение шкентеля определяется по формулам:

- при подъеме груза

$$S = G \cdot \frac{k^n(k-1)}{k^{n+1}-1}, \quad (6)$$

- при опускании груза

$$S = G \cdot \frac{k-1}{k^{n+1}-1}. \quad (7)$$

Количество шкивов в таях может быть определено следующим образом.

Заданная грузоподъемность лебедки S_2 делится на заданную грузоподъемность стрелы G и полученное соотношение сравнивается с приведенными в таблице 2 для $\mu = 0,05$ и $\mu = 0,01$.

По ближайшему меньшему табличному соотношению определяется число шкивов в таях (таблица А.2)

При использовании аналитического метода применяются следующие зависимости:

4. 3. Определение осевого усилия для трюмной и береговой стрелы с проводкой грузового шкентеля вдоль стрелы.

$$P_0 = (G + 0,5 \cdot P_c) \frac{L}{H} + S. \quad (8)$$

4.4. Определение натяжение топенанта, для трюмной и береговой стрелы может быть определено по формуле

$$T = (G + 0,5 \cdot P_c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{L}{H}\right)^2} - 0,52 \cdot \frac{L}{H}. \quad (9)$$

Контрольные вопросы к разделу 4

1. Дать определение грузового шкентеля.
2. Что такое топенантный блок?
3. Что такое шпор стрелы?
4. Что такое направляющий блок?
5. Дать определение и охарактеризовать назначение грузовых талей.
6. Что такое нок стрелы?
7. Что такое топенант?
8. Что такое грейфер?
9. Написать формулу для определения массы стрелы.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ЛИНИИ СТРЕЛ ПРИ СПАРЕННОЙ РАБОТЕ

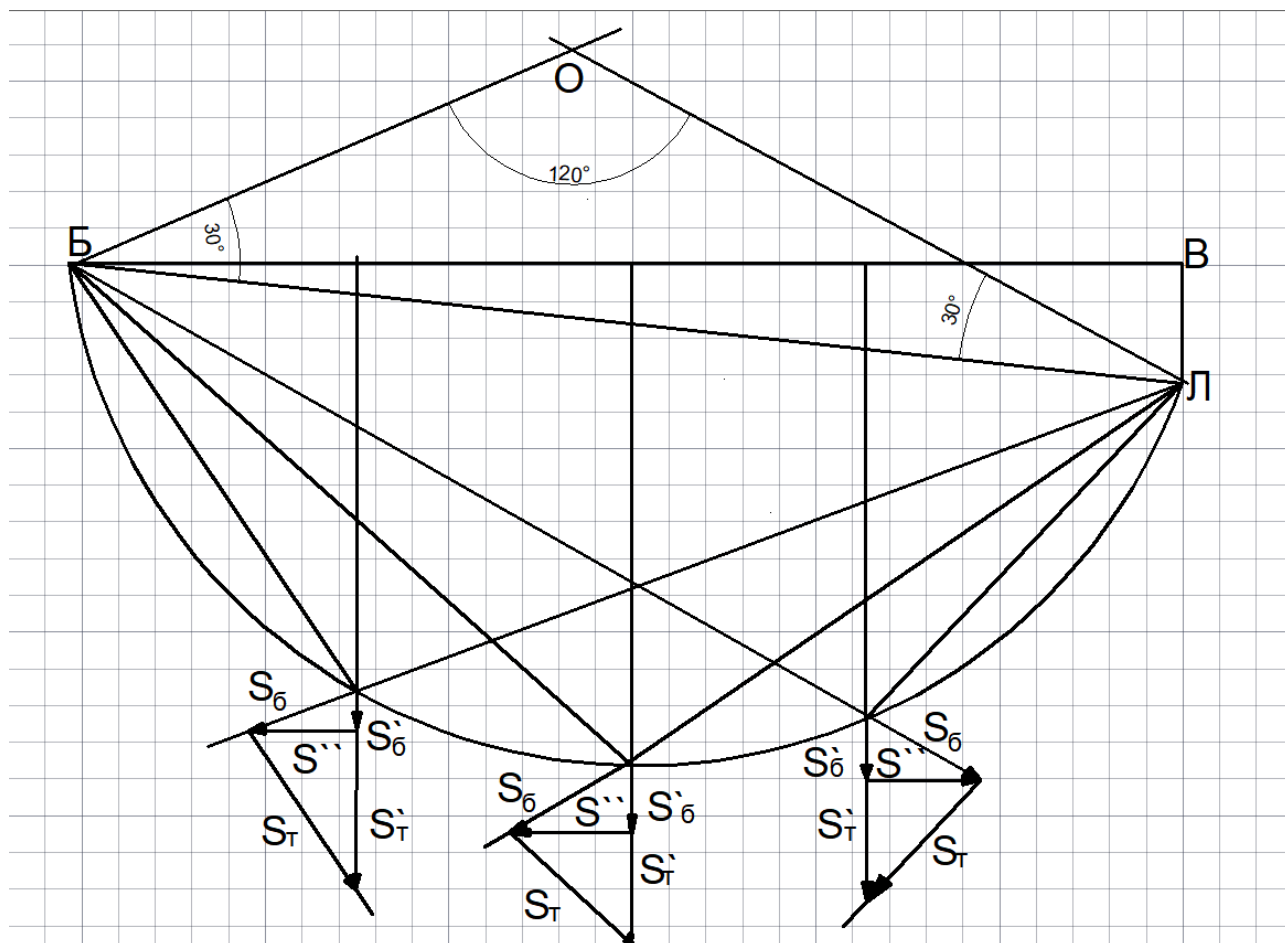
Расчет должен быть произведен графоаналитическим способом по рисунку 5.

5.1. Определение истинного натяжения в грузовых шкентелях S и их вертикальные или горизонтальные составляющие S' и S'' , действующие на ноки стрел при подъеме груза весом 1 т. Для чего производится следующее построение.

Проводим горизонталь БВ и на ней строим прямоугольный треугольник с катетом БВ = W и катетом ВЛ = Δh , где Δh – является возвышением нока люковой стрелы над ноком береговой стрелы, а W – расстояние между ноками стрел, м, в плане и определяется как

$$\Delta h = \sqrt{L_m^2 - (L'_m)^2} - \sqrt{L_\sigma^2 - (L'_\sigma)^2}. \quad (1)$$

Из точек Л и Б проводятся под углом 30° к линии ЛБ отрезки, до пересечения в точке О. Из нее радиусом ОБ описывается дуга ЛБ, соответствующая центральному углу 120° . Гипотенуза ЛБ делится на 4 или 6 равных отрезков из концов, которых опускаются перпендикуляр к катету БВ до пересечения с дугой в точках 1, 2, 3, 4, 5 или 1, 2, 3. От точек 1, 2, 3 вниз на продолжении перпендикуляров откладывается в масштабе грузоподъемность равная 1 т. Из концов полученных отрезков проводят линии параллельные положению шкентелей в данной точке. В силовых многоугольниках S_σ и S_T соответствуют истинному натяжению грузовых шкентелей, векторы S_σ и S_T – представляют собой вертикальные составляющие, а вектор S'' горизонтальную составляющую натяжения грузовых шкентелей при подъеме груза массой 1 т.



$$БВ = W; \quad ВЛ = \Delta h$$

Рисунок 5 - Схема определения усилий в шкентелях при работе 2-х стрел

Контрольные вопросы к разделу 5

1. Что такое грузовой шкентель?
2. Что такое топенантный блок?
3. Что такое шпор стрелы?
4. Что такое направляющий блок?.
5. Что такое грузовые тали, их назначение?
6. Что такое нок стрелы?
7. Что такое грузовые колонки?
8. Что такое топенант?
9. Что такое рейфер?
10. Написать формулу для определения массы стрелы?

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОГО НАТЯЖЕНИЯ В КОНТРОТТЯЖКАХ

6.1. Определение истинного натяжения в контроттяжках N и их горизонтальные составляющие, действующие на ноки стрел N' и N'' .

Наносим отдельно для люковой и береговой стрел положение ноков, грузовых шкентелей и контроттяжек (согласно рисунку 3). На проекции грузового шкентеля откладываются горизонтальные составляющие S_1'' , S_2'' , S_3'' и из концов проводятся отрезки, параллельные горизонтальной проекции оттяжки до пересечения с проекцией стрелы. Векторы T_6'' и T_T'' являются горизонтальными составляющими натяжения в топенантах.

Проведя из концов векторов T_6'' и T_T'' отрезки, параллельные проекции грузового шкентеля, получают горизонтальные составляющие в оттяжках N_6'' и N_T'' для трех или пяти точек.

Вычерчивая истинное расположение оттяжек в зависимости от высоты ноков стрел и длины горизонтальной проекции оттяжек строят треугольники по полученным значениям N_6'' и N_T'' . Из построения получают значения вертикальных составляющих N_6'' и N_T'' и истинные натяжения оттяжек N_6 и N_T (рисунок 2).

Действительные величины осевого усилия в стреле и натяжения в топенанте определяют построение многоугольника сил в плоскости стрела – топенант для каждой из стрел. Исходными величинами являются:

- а) горизонтальная составляющая натяжения топенанта T_T'' ,
- б) вертикальная нагрузка на нок стрелы, состоящей из: вертикальной составляющей, действующей на грузовой шкентель S_T' , вертикальной составляющей, действующей на оттяжку N_T' и половины массы стрелы $P/2$ (рисунок 3).

6.2. Усилие в грузовом шкентеле, кг, за грузовым блоком (направленном параллельно стреле).

$$S = K = k \cdot G, \quad (1)$$

где k – определяется в практической работе № 14,

G – грузоподъемность стрелы в кг.

Так как весь расчет для спаренной работы стрел велся исходя из условного груза в 1 т, то допустимая грузоподъемность при спаренной работе определяется отношением

$$G''_{см} = \frac{P_{ом}}{P_{о см}}; \quad G''_{см} = \frac{T_m}{T_{см}}, \text{ если } \frac{T_m}{T_{см}} \triangleleft \frac{P_{ом}}{P_{о см}}$$

$$G'_{снб} = \frac{P_{об}}{P_{о снб}} \text{ или } G''_{снб} = \frac{T_6}{T_{снб}},$$

$P_{от}$ и T_T соответственно осевое усилие и натяжение топенанта при работе стрел, (рассчитанное раньше),

$P_{о спт}$ и $T_{спт}$ – осевое усилие и натяжение топенанта при спаренной работе стрел.

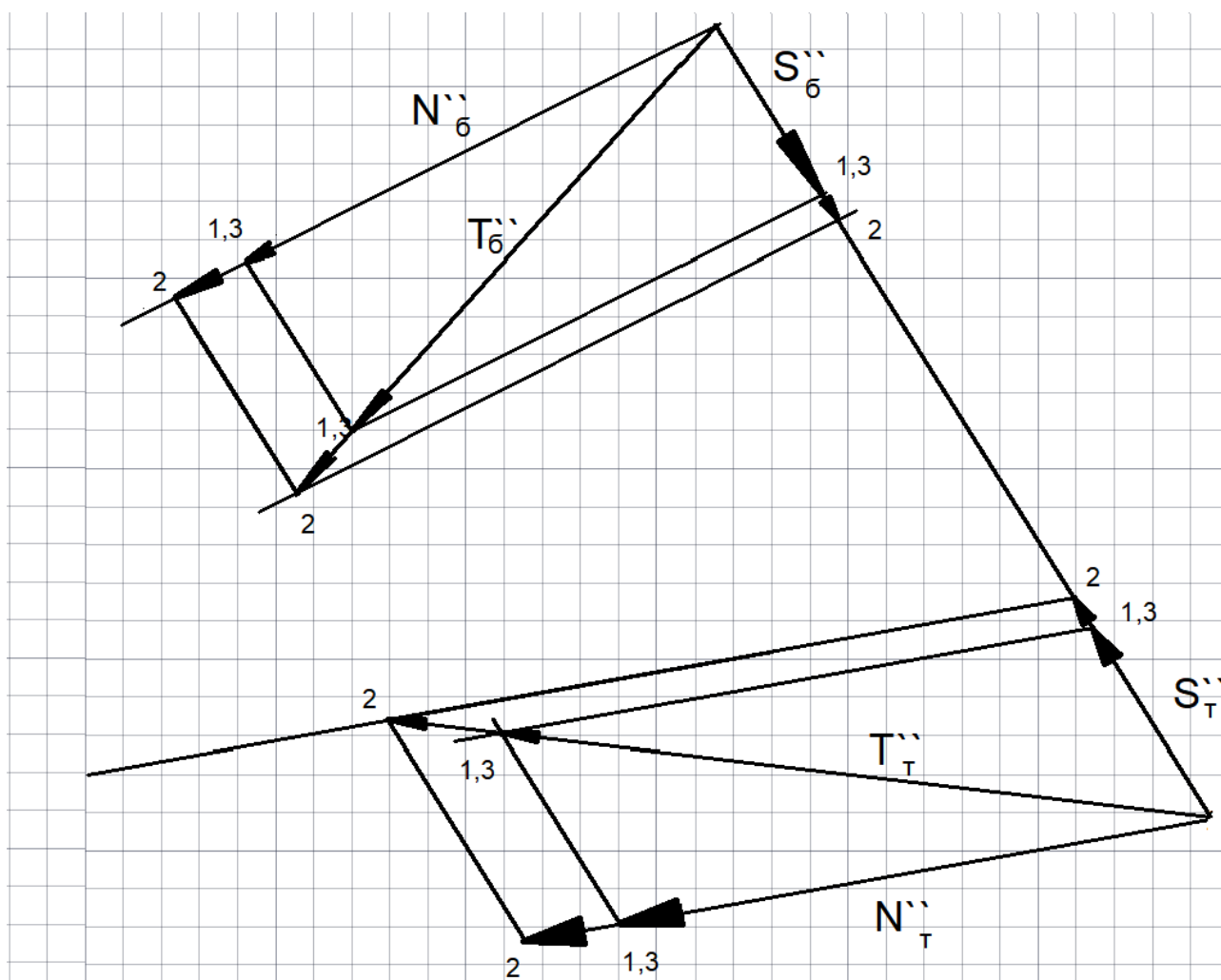


Рисунок 6 - Определение горизонтальных составляющих натяжения топенанта

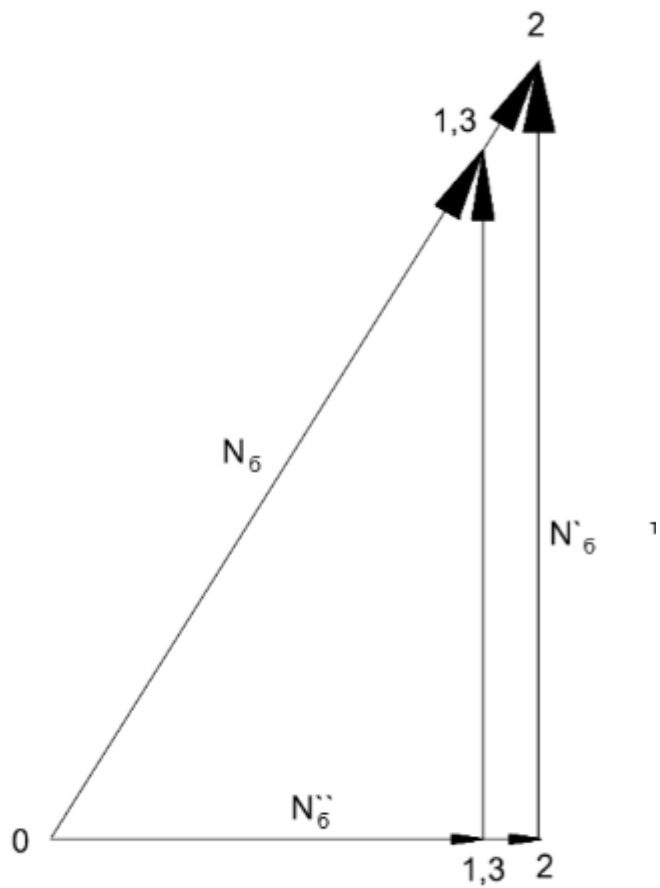


Рисунок 7 - Определение истинных натяжения в контроттяжках береговой стрелы

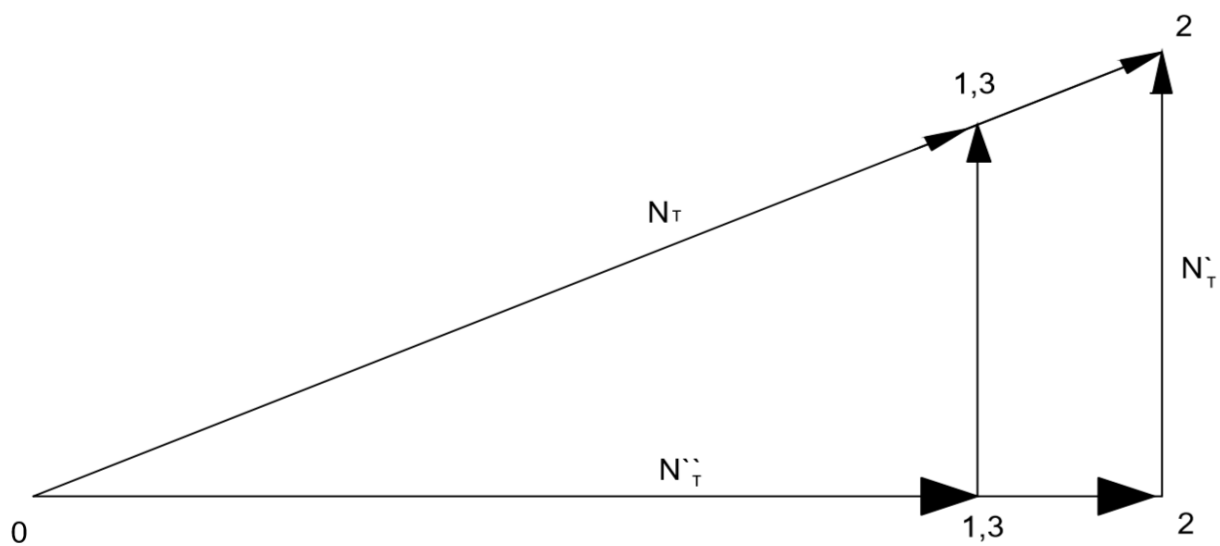
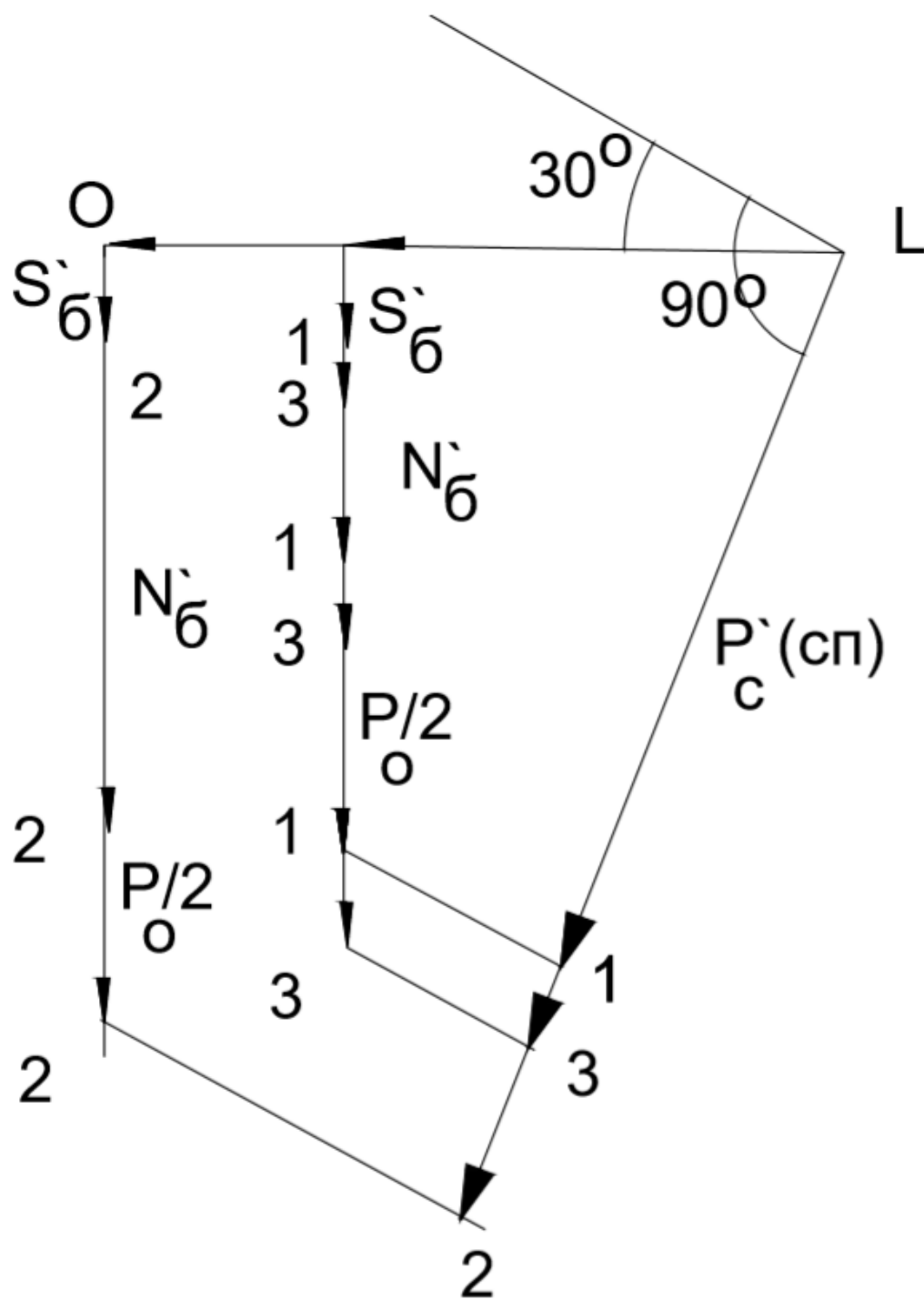


Рисунок 8 - Определение истинных натяжения в контроттяжках трюмной стрелы



отрезок $OL = T''_{\text{Б}}$

Рисунок 9 - Определение действительной величины осевого усилия в стреле и натяжения в топенанте при спаренной работе стрел (для береговой стрелы)

7. ВЫБОР ГРУЗОВЫХ СТРЕЛ. РАСЧЕТ СТРЕЛЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Для проверки устойчивости стрел вводятся понятия условного и действительного запасов устойчивости.

Условный запас устойчивости вычисляется в предположении, что диаметр поперечного сечения стрелы одинаков по всей ее длине. Минимальный условный запас устойчивости стальных стрел равен пяти.

Форма некоторых стрел отличается от цилиндрической. Запас устойчивости, вычисляемый с учетом изменения сечения по длине стрелы, называется **действительным запасом устойчивости**. Для цилиндрических стрел действительный и условный запасы устойчивости совпадают.

Формула определения критической сжимающей силы стрелы с учетом отступления от цилиндрической формы, имеет вид

$$P_k = k_1(EI_0/l^2),$$

где I_0 — момент инерции поперечного сечения средней части стрелы;

l — длина стрелы;

k_1 — коэффициент, зависящий от отношений I_0/l , I_k/I_0 и формы изменения сечения о длине стрелы, здесь l_0 — длина средней цилиндрической части стрелы;

I_k — момент инерции поперечного сечения концевой участка стрелы.

Для стрел, у которых сечение меняется ступенчато и по линейному закону, значения коэффициента k_1 приведены в таблице 1 и в таблице 2.

Таблица 1 - Значения коэффициента k_1 для стрелы с коническими участками

I_k/I_0	l_0/L				
	0	0,2	0,4	0,6	0,8
0,1	5,01	6,32	7,84	9,14	9,77
0,2	6,14	7,31	8,49	9,39	9,81
0,4	7,52	8,38	9,10	9,62	9,84
0,6	8,50	9,02	9,46	9,74	9,85
0,8	9,23	9,50	9,69	9,81	9,86

Таблица 2 - Значения коэффициента k_1 для ступенчатой стрелы с коническими переходами

I_k/I_0	l_0/L			
	0,2	0,4	0,6	0,8
0,1	1,47	2,40	4,50	8,59
0,2	2,80	4,22	6,69	9,33
0,4	5,09	6,68	8,51	9,68
0,6	6,99	8,19	9,24	9,78
0,8	8,55	9,17	9,63	9,84

Действительный запас устойчивости стрелы $P_k / P_0 \geq 4,5$

Напряженное состояние стрелы определяется сжатием и изгибом от собственной массы, внецентренного приложения сжимающего усилия и прогиба стрелы. Момент от собственной массы стрелы

$$M_1 = g m_e l / k_2,$$

где m_e — масса стрелы;

k_2 — коэффициент, учитывающий форму стрелы, для цилиндрических стрел $k_2 = 8$, для стрел с переменным по длине диаметром сечения $k_2 = 7,5$.

Момент от внецентренного приложения сжимающего усилия возникает в связи с тем, что составляющие натяжения топчананта и усилия не равны и приложены на разном расстоянии (рис.11).

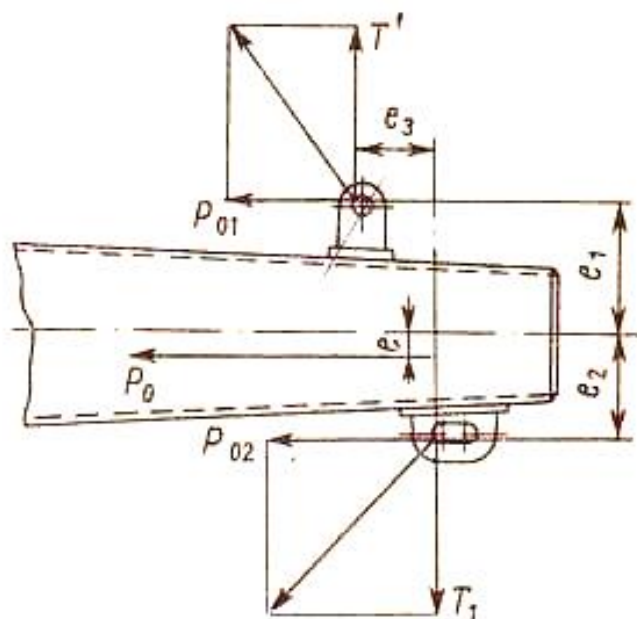


Рисунок 11

Этот момент равен $M_2 = P_{02}e_2 - P_{01}e_1 = P_0e$.

За счет прогиба стрелы под действием собственной массы образуется плечо, на котором действует сжимающая сила. Возникающий при этом изгибающий момент вычисляется по приближенной формуле

$$M_3 = P_0 f_0 / (1 - P_0 / P_k),$$

где f_0 – прогиб под действием собственной массы,

$$f_0 = 5/384 * g m l^3 / EI.$$

Грузовые стрелы работают в условиях сложного напряженно-деформационного состояния, поскольку помимо напряжений сжатия в стрелах возникает напряжение от поперечного изгиба под влиянием собственного веса стрелы и внецентрового приложения осевого усилия. Эксцентриситет «е» можно определить графически, если приложить к проушинам обуха нока стрелы силы «Т» и $(G + P_{ст}/2)$.

Изгибающий момент от внецентрового сжатия будет

$$M_3 = P_0 e.$$

Грузовые стрелы как легкие так и тяжеловесные выбираются стандартными в зависимости от требуемой длины и осевого усилия [2]. При несоответствии длины стрелы и его осевого усилия, предусмотренным стандартом, стрела выбирается по ближайшим значениям длины и усилию, приведенным в стандарте выбранная стрела должна быть проверена на устойчивость и прочность.

7.1. Выбор основных размеров стрел.

Выбираем основные размеры цилиндрическо-конусных стрел (по стандарту)

$L_{ст}$ – длина стрелы,

P_0 – осевое усилие в стреле,

d – диаметр у нока и шпора,

D – диаметр средней обечайки,

S – толшины средней обечайки,

S_0 – толщина шпорной и ноковой обечайки.

7.2. Расчет стрелы на устойчивость.

Всякая стрела представляет собой стержень, сжимаемый по оси усилием P_0 . Такой стержень обладает соответствующим запасом устойчивости, гарантирующим безопасность работы стрелы. Запас устойчивости стальной стрелы должен быть не менее 4,5 м.

Принимаем

$$h = 4,5 \text{ м.} \quad (1)$$

Если стрела имеет постоянное сечение по длине, то момент инерции этого сечения, м^4 , можно определить по формуле Эйлера:

$$J = \frac{n \cdot P_0 \cdot L}{\pi^2 \cdot E}, \quad (2)$$

где $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости первого рода для стали.

Для стрел, имеющих по переменно цилиндрическо-коническое сечение момент инерции, м^4 , определяется как

$$J = \frac{n \cdot P_0 \cdot L^2}{k \cdot E}, \quad (3)$$

где k – коэффициент, определенный по таблице 1, 2 зависящий от отношения $L_{\text{ц}}/L$.

Промежуточное значение k определяет линейной интерполяцией. Отношение $L_{\text{ц}}/L$ рекомендуется брать не менее 0,33, а отношение $J_{\text{ц}}/J$ не менее 0,25.

Конструкция стрелы должна отвечать следующим основным требованиям:

- толщина стенки стрелы должна быть не менее 4 мм;
- отношение наибольшего диаметра стрелы к толщине стенки должно быть равно 30 - 40;
- диаметр сечения стрелы у нока и шпора должен быть не менее 0,65 диаметра в средней части;
- длина средней цилиндрической части стрелы переменного сечения должна быть не менее 1/3 длины стрелы.
- Цилиндрические стрелы используют при длине стрелы до 12 м, цилиндрические с коническими концами — при длине >12 м. На практике встречаются также ступенчатые цилиндрические стрелы. Оформление ступенчатого переходного участка в конструкции стрелы возможно с коническим участком или с опорными кольцами (рис. 11). Для уменьшения концентрации напряжений угол наклона образующей конического переходного участка должен быть не менее 15° . Если используется переходной участок с опорными кольцами, то разница в диаметрах сопрягаемых труб не должна превышать 40 - 50 мм. В таких конструкциях нет необходимости изготавливать переходные конические участки.

Промежуточное значение k определяет линейной интерполяцией. Отношение $L_{\text{ц}}/L$ рекомендуется брать не менее 0,33, а отношение $J_{\text{ц}}/J$ не менее 0,25.

Между диаметром стрелы D и толщиной стенки δ существует зависимость для легких стрел

$$i = \frac{D}{\delta} = 30 \dots 40, \quad (4)$$

для тяжелых стрел $i = 60$.

Задаваясь определенным отношением i диаметр стрелы, m , может быть определен как

$$D = 1.26 \cdot \sqrt[4]{\frac{i^2}{i-1} \cdot J}. \quad (5)$$

Толщина стенки стрелы должна быть не менее 4 мм.

Контрольные вопросы к разделу 7

1. Что такое средняя обечайка?
2. Что такое ноковая обечайка?
3. Что такое топенантный блок?
4. Что такое шпор стрелы?
5. Что такое шпорная обечайка?
6. Написать формулу для определения диаметра стрелы
7. Что такое нок стрелы?
8. Что такое грузовые колонки?
9. Что такое топенант?
10. Что такое грейфер?

8. ВЫБОР ГРУЗОВЫХ СТРЕЛ. РАСЧЕТ СТРЕЛЫ НА ПРОЧНОСТЬ

Грузовые стрелы работают в условиях сложного напряженно-деформационного состояния, поскольку помимо напряжений сжатия в стрелах возникает напряжение от поперечного изгиба под влиянием собственного веса стрелы и внецентрового приложения осевого усилия. Эксцентриситет «е» можно определить графически, если приложить к проушинам обуха нока стрелы силы «Т» и $(G + P_{ст}/2)$.

Конструкция стрелы должна отвечать следующим основным требованиям:

- толщина стенки стрелы должна быть не менее 4 мм;
- отношение наибольшего диаметра стрелы к толщине стенки должно быть равно 30 - 40;
- диаметр сечения стрелы у нока и шпора должен быть не менее 0,65 диаметра в средней части;
- длина средней цилиндрической части стрелы переменного сечения должна быть не менее 1/3 длины стрелы.

Изгибающий момент от внецентрового сжатия будет

$$M_э = P_0 e. \quad (1)$$

Изгибающий момент от собственной массы стрелы

$$M_в = \frac{P_{ст} L}{c}, \quad (2)$$

где $c = 6$ для стрел с постоянным сечением;

$c = 7,5$ для стрел с переменным конусно-цилиндрическим сечением.

Напряжение от совместного действия всех указанных выше сил определяется по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{P_0}{F} \pm \frac{M_э}{W} + \frac{M_в}{W} \left(1 + \frac{P_0}{P_э - P_0} \right) \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (3)$$

где F – площадь сечения стрелы, м^2 ;

W – момент сопротивления стрелы;

$P_э$ – Эйлера нагрузка, кг.

$$P_э = \frac{\pi^2 EJ}{L^2} . \quad (4)$$

Площадь сечения стрелы, м^2

$$F = \pi * D * \delta . \quad (5)$$

Момент сопротивления стрелы, м³

$$W = \frac{\pi}{4} * D^2 * \delta . \quad (6)$$

Допускаемое напряжение, Мпа, должно быть определено по дифференциальному методу с учетом факторных коэффициентов запаса прочности

$$\sigma_{don} = \frac{\sigma_m}{k} = \frac{\sigma_m}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} , \quad (7)$$

где $K_1=1.38 - 1.5$ коэффициент учитывающий степень ответственности конструкции и надежности материала,
 $K_2=1.1 - 1.15$ коэффициент, учитывающий неточность исходных нагрузок и расчетных формул,
 $K_3=1.1 - 1.25$ поправочный коэффициент на динамические нагрузки. Для тяжеловесов $K_3 = 1.0$.

Контрольные вопросы к разделу 8

1. Написать формулу изгибающего момента от внецентрового сжатия стрелы.
2. Написать формулу для расчета площади сечения стрелы?
3. Что такое топенантный блок?
4. Что такое шпор стрелы?
5. Что такое шпорная обечайка?
6. Написать формулу для определения момента сопротивления стрелы.
7. Что такое нок стрелы?
8. Что такое топенант?
9. Написать формулу для определения допускаемого напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть III Устройства, оборудование и снабжение. Российский морской Регистр судоходства. - СПб., 2020. - 175 с.
2. Яковлев, С. Г. Судовые системы : учебное пособие / С. Г. Яковлев. — Нижний Новгород : ВГУВТ, 2017. — 104 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/111608> (дата обращения: 04.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Бабич, А.В. Общесудовые и специальные системы : конспект лекций / А.В. Бабич. — Москва : Альтаир МГАВТ, 2019. — 60 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1033823> (дата обращения: 04.07.2020). — Режим доступа: по подписке.
4. Геец, В. М. Специальные системы наливных судов. Курс лекций : учебное пособие / В. М. Геец. — Владивосток : МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2012. — 185 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/20054> (дата обращения: 04.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.ред.
5. URL <https://flot.com/publications/books/shelf/chainikov/39.htm>/Дата обращения 02.07.2020.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 - Габаритные и весовые данные типовых судовых лебедок

Ток	Индекс	Грузоподъемность, Т	Скорость подъема груза, м/мин	Скорость спуска груза, м/мин	Габаритные размеры, мм			Общая масса кг	Мощность эл. двигателя, кВт
					Длина	Ширина	Высота		
Постоянный	ЛЭ57	1,5	30	58	1495	660	535	815	8
	ЛЭ58	3,0	45	68	2085	930	700	1980	13
	ЛЭ59	5/3	24/41	40/73	2430	1113	915	2770	18
	ЛЭ58-2	3/10	45/16	68/24	3665	2300	1400	5390	18
Переменный	ЛЭ57	1,5	30	34	1600	660	535	775	9/3,2
	ЛЭ58	3,0	54	56	2180	930	700	2210	32/16/6
	ЛЭ59	5/3	30/52	32/54	2525	1115	915	2000	32/16/6
	ЛЭ68-2	3/10	54/14	55/15	3750	2300	1400	5610	32/16/6

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 – Основные характеристики сухогрузных судов

Основные характеристики		Сухогрузное судно						
		1	2	3	4	5	6	7
Длина, м	L	140	148	143	142	91	145	141
Ширина, м	B	20.0	21.0	20.5	23.0	14.0	22.0	22.8
Высота борта, м	D	12.0	12.6	11.8	14.4	8.0	12.3	14.2
Осадка, м	d	7.5	8.0	6.9	8.4	5.5	7.9	8.1
Водоизмещение полное, т	$\cdot 10^3$	13.7	16.2	13.2	17.8	4.6	16.4	16.9
Водоизмещение порожнем, т	$\cdot 10^3$	4.6	5.4	4.4	5.9	1.5	5.5	5.6
Палубы (количество)	n_1	1	2	1	2	2	1	2
Расположение	МО	К	Пр*	Пр*	Ср*	Ср	Пр	Ср
Ширина люка	b_1	0.5 · B						
Ширина шахты	b_2	0.3 · B						
Радиус скулы	Rc	0.9 высоты двойного дна						
Категория подкреплений		ЛУЗ	ЛУ4	ЛУЗ	ЛУ4	ЛУЗ	ЛУ2	ЛУ4
Район эксплуатации		I	II	I	II	I	I	II
Подъем линии днища	t	0.15	0.16	0.14	0.17	0.11	0.16	0.16

*Промежуточное, среднее расположение машинного отделения (МО).

Таблица Б2 – Основные характеристики наливных судов

Основные характеристики		Наливное судно						
		1	2	3	4	5	6	7
Длина, м	L	150	195	213	174	215	165	182
Ширина, м	B	21.0	27.0	32.0	23.4	31.0	23.0	24.3
Высота борта, м	D	11.2	14.2	15.2	12.5	15.5	12.4	13.8
Осадка, м	d	8.0	10.5	11.0	9.0	11.3	9.5	10.5
Водоизмещение полное, т	$\cdot 10^3$	20.7	45.3	61.5	30.1	61.8	29.6	38.1
Водоизмещение порожнем, т	$\cdot 10^3$	6.9	15.1	20.5	10.0	20.6	9.9	12.7
Продольные переборки	n_2	2	2	2	2	2	2	2
Расположение	МО	К	К	К	К	К	К	К
Ширина шахты	b_2	0.3 · B						
Радиус скулы	Rc	0.9 высоты двойного дна						

Чемакина Тамара Львовна

ГРУЗОВОЕ УСТРОЙСТВО

*Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы*

В авторской редакции

Изд. № 285/2020. Объем 2 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»