



УДК 629.

Роннов Евгений Павлович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой проектирования и технологии постройки судов ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Кочнев Юрий Александрович, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и технологии постройки судов ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СБАЛАНСИРОВАННЫХ ЯКОРЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ДЕРЖАЩЕЙ СИЛЫ

Ключевые слова: якорь повышенной держащей силы, действующие нагрузки, дефекты якоря

Аннотация. В статье рассмотрен подход к обеспечению прочности лапы якоря повышенной держащей силы при его проектировании. Рассмотрены виды нагрузок, испытываемые якорем при испытаниях и при фактической его работе в грунте, наиболее опасные сечения лапы и расчётные схемы, которые могут быть применены

На современных судах речного и морского флота Российской Федерации широко применяются якоря повышенной держащей силы (ПДС), соответствующие ГОСТ 25496 [1], и якоря типа АС-14 или его аналоги, также являющиеся якорями, обеспечивающими повышенную держащую силу. Качественным отличием иностранных якорей от отечественного аналога является наличие у них самобалансировки лап.

Обеспечить самобалансировку лап на якорях ПДС возможно либо изменением конструкции оси веретена, что делает якорь нетехнологичным, слабо ремонтпригодным и, как следствие, более дорогим, или снижением центра тяжести лап якоря ниже центра их вращения на веретене, аналогично принятому решению на якорях типа АС-14.

Боле перспективным, на наш взгляд, является второй метод, который достигается двумя конструктивными решениями: поднятием оси вращения лапы, за счёт организации прилива на коробке и перераспределение массы металла с лап на юбку коробки (рисунок 1) [2].

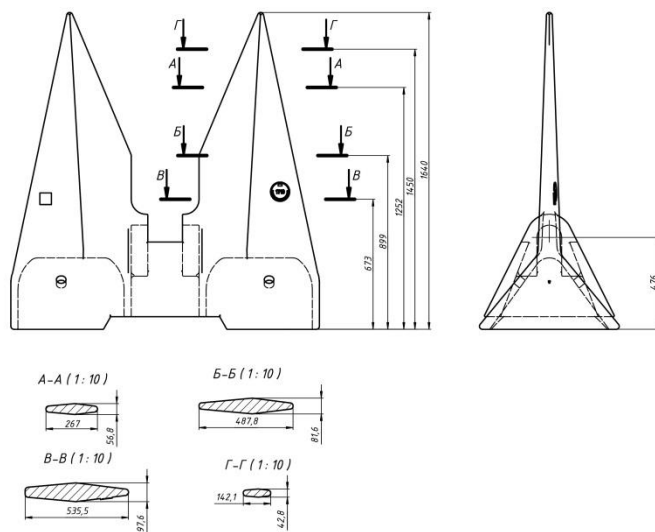


Рисунок 1 – Якорь ПДСБ

После модификации у якоря должны сохраниться прочностные свойства. Так, в соответствии с Правилами Российского Речного Регистра [3] и Российского Морского Регистра Судоходства [4] якорь подвергают испытаниям, включающим бросание на стальную плиту каждой детали якоря и растяжение всего якоря пробной нагрузкой.

Из анализа опыта проектирования и изготовления якорей ПДС можно заключить, что у них могут не выполняться требования по сбрасыванию при недостаточном качестве металла отливки или несоблюдении технологии литья лапы.

Обеспечение прочности лапы от действия на неё пробной нагрузки рассмотрим, схематизировав данный опыт в расчётный случай. Примем, что каждая лапа имеет жесткое защемление на коробке якоря (рисунок 2).

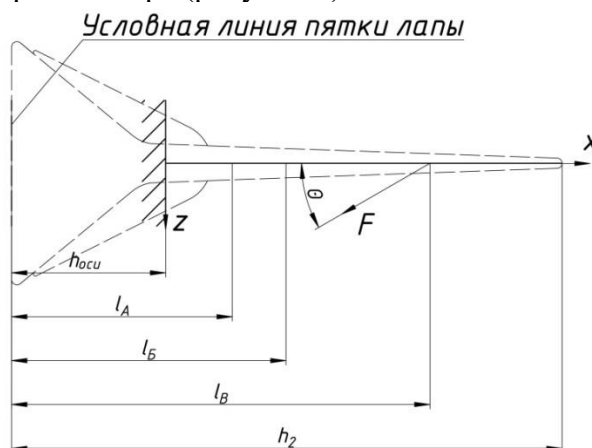


Рисунок 2 – Схематизация якоря ПДС для проверки прочности лапы

Пробная нагрузка в соответствии с [3,4] прикладывается на расстоянии 1/3 от носика лапы до оси крепления лапы на веретене, то есть абсцисса её точки приложения может быть найдена по формуле

$$x_p = h_{ocu} + \frac{2}{3} \times (h_2 - h_{ocu}),$$

где h_{ocu} – положение оси крепления лапы к веретену, измеренное от пятки лапы;

h_2 – высота лапы [1].

Максимальный угол отклонения лапы от вертикали составляет $\pm 35^\circ$ [1]. Таким образом, пробная нагрузка P , будет действовать на якорь так же под углом $\pm 35^\circ$, и соответственно, её можно разложить на сжимающую и изгибающую составляющие

$$P_x = 0,5 \times F \cos 35^\circ$$

$$P_y = 0,5 \times F \sin 35^\circ. \quad (1)$$

В свою очередь от последней составляющей в сечениях лапы будет образовываться изгибающий момент равный

$$M(x) = \begin{cases} P_y \times (x_p - x) & \text{при } x < x_p \\ 0 & \text{при } x \geq x_p \end{cases}, \quad (2)$$

где x – абсцисса рассматриваемого сечения лапы.

В сечении якоря будут действовать нормальные и касательные (в предположении равномерного распределения по ширине сечения) напряжения, определяемые по известным формулам сопротивления материалов [5]

$$\sigma(x) = \frac{P_x}{F(x)} + \frac{M(x)}{I(x)} y,$$

$$\tau(x) = \frac{P_y \times S(x, y)}{I(x) \times z(x, y)}, \quad (3)$$

где $F(x)$ – площадь рассматриваемого поперечного сечения;

$I(x)$ – момент инерции сечения;

$S(x, y)$ – статический момент, отсекаемой части сечения;

$z(x, y)$ – ширина отсекаемой части сечения.

Прочность лапы можно считать обеспеченной, если будет выполняться условие для эквивалентных напряжений в каждом сечении

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \leq [\sigma], \quad (4)$$

где $[\sigma]$ – допускаемые напряжения, принимаемые в соответствии с нормами [3,4].

Или когда коэффициент запаса прочности будет больше единицы

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{eq}}, \quad (5)$$

Учитывая, что нормальные напряжения от общего изгиба максимальны на краях сечения, а касательные напряжения, наоборот, в данных точках отсутствуют и, что нормальные напряжения в лапе много больше касательных, в дальнейшем откажемся от учета касательных напряжений.

Результаты расчёта напряжений в лапе приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчёт напряжений в соответствии с требованиями Правил

Наименование	Размер-ность	Обоз-начение	Якорь ПДСБ 1710 кг		
			Сечение А	Сечение Б	Сечение В
1	2	3	4	5	6
Допускаемые напряжения	МПа	$[\sigma]$	240		
Высота лапы	м	h_2	1,64		
Абсцисса точки приложения силы	м	x_p	1,252		
Пробная нагрузка	кН	P	369		
Пробная нагрузка на одну лапу	кН	$0,5P$	184,5		
Угол действия силы	град		35		

1	2	3	3	4	5
Сжимающая нагрузка	кН	P_x	154,7		
Изгибающая нагрузка	кН	P_y	100,5		
Абсцисса сечения лапы	м	x	1,252	0,899	0,673
Изгибающий момент в сечении	кН м	$M(x)$	0	35,5	58,2
Площадь, см	см ²	F	112,12	270,03	364,08
Момент инерции сечения лапы	см ² см ²	I	188,49	851,27	1699,86
Ширина сечения	см	b	5,67	8,16	9,76
Аппликата сечения	см	z	2,835	4,08	4,88
Нормальные напряжения от изгиба	МПа	σ_1	0	170,15	167,08
Нормальные напряжения от сжимающей силы	МПа	σ_2	13,8	5,73	4,25
Суммарные нормальные напряжения	МПа	σ	13,8	175,88	171,33
Коэффициент запаса прочности		k	17,39	1,36	1,4

Однако в реальной эксплуатационной ситуации нагрузка на лапу якоря может быть приложена в отличном сечении и, как показал опыт эксплуатации таких якорей, одной из лап.

В наихудшем случае точка действия силы будет равна высоте лапы $x_p = h_2$, сжимающая и изгибающая нагрузка будет находиться формуле

$$\begin{aligned} P_x &= P_3 \cos \theta \\ P_y &= P_3 \sin \theta. \end{aligned} \quad (5)$$

где P_3 – величина эксплуатационной нагрузки;

θ – угол между лапой и поверхностью упора в точке контакта (рисунок 3).

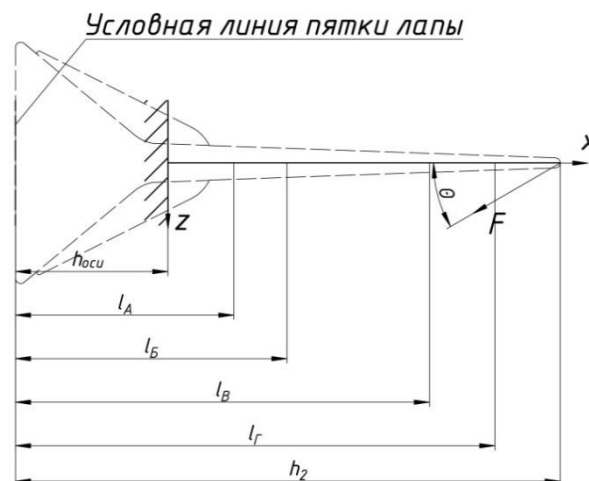


Рисунок 3 – Схема зацепления носика якоря

Величина изгибающего момента, нормальных, касательных и эквивалентных напряжений находятся в данном случае также по формулам 2,3,4.

За величину эксплуатационной нагрузки, с ошибкой в безопасную сторону, должна быть принята сила на рабочем органе устройства для подъема якоря (брашпиль, лебёдке и т.д.).

В дополнение необходимо рассмотреть дополнительное сечение Г (рисунок 1). Результаты расчёта для рабочей нагрузки 52 кН, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Расчёт напряжений в лапе якоря при максимальной нагрузке

Наименование	Размерность	Обозначение	Якорь ПДСБ 1710 кг			
			Сечение А	Сечение Б	Сечение В	Сечение Г
Допускаемые напряжения	МПа	$[\sigma]$	240			
Высота лапы	м	h_2	1,64			
Абсцисса точки приложения силы	м	x_p	1,64			
Нагрузка на одну лапу	кН	P	52			
Угол действия силы	град		35			
Сжимающая нагрузка	кН	P_x	42,6			
Изгибающая нагрузка	кН	P_y	29,8			
Абсцисса сечения лапы	м	x	1,252	0,899	0,673	1,45
Изгибающий момент в сечении	кН м	$M(x)$	11,6	22,1	28,8	5,7
Площадь, см	см ²	S	112,12	270,03	364,08	48,59
Момент инерции сечения лапы	см ² см ²	I	188,49	851,27	1699,86	52,57
Ширина сечения	см	b	5,67	8,16	9,76	4,28
Аппликата сечения	см	z	2,835	4,08	4,88	2,14
Нормальные напряжения от изгиба	МПа	σ_1	174,47	105,92	82,68	232,03
Нормальные напряжения от сжимающей силы	МПа	σ_2	3,8	1,58	1,17	8,77
Суммарные нормальные напряжения	МПа	σ	178,27	107,5	83,85	240,8
Коэффициент запаса прочности		k	1,35	2,23	2,86	1

Как видно из таблицы, при действии на якорь нагрузки в 52 кН, коэффициент запаса прочности в наиболее опасном сечении равен единице. Однако такое (однолапое) зацепление при нормальной эксплуатации маловероятно, то есть можно говорить о реальном двукратном запасе прочности или о возможности увеличения внешних нагрузок при соблюдении требований по правилам эксплуатации.

Список литературы:

- [1]. ГОСТ 25496 Якорь повышенной держащей силы. Технические условия.
- [2]. Патент
- [3]. Российский Речной Регистр. Правила. М., 2018 – 1885 с. URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/rules2015/rules062018.pdf>
- [4]. Российский Морской Регистр. Правила. ЧIII. Устройства, оборудования и снабжения. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules&d=E24119C4-F399-477C-8A44-1C143EAA1C03&f=2-020101-114-3>

[5]. Учебный справочник по прочности судов внутреннего плавания / Давыдов В.В., Маттеc Н.В., Сиверцев И.Н. изд. 2-ое, перераб. и доп. М.: Речной транспорт, 1958 – 755 с.

OPERATIONAL EVALUATION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE BALANCED ANCHORS OF INCREASED HOLDING POWER

Keywords: anchor of increased holding force, acting loads, anchor defects

The article describes an approach to ensuring the strength of the armature of the increased holding force in its design. The types of loads experienced by the anchor during testing and during its actual work in the soil, the most dangerous sections of the paw and design schemes that can be applied are considered