

УДК 656.6

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРЕЛЫ ТРАПА ДЛЯ ПЕРЕСАДКИ ПАССАЖИРОВ С СУДНА НА БУРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Дашков Алексей Валерьевич¹, аспирант

e-mail: tldashkov@gmail.com

Бармин Илья Андреевич¹, магистрант

e-mail: iluha_barmin@mail.ru

Никитаев Игорь Владимирович¹, кандидат технических наук, доцент

e-mail: inikitaev@bk.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются конструкция судового телескопического трапа, условия эксплуатации в экстремальных условиях и проектирование стрелы трапа. Проведен подбор материала с учетом свойств, требуемых для работ в условиях холодного климата. Особое внимание уделено расчету прочности стрелы трапа и возможностям усиления конструкции телескопической стрелы.

Ключевые слова: Телескопический трап, буровые платформы, стрела, расчет прочности, напряжение, деформация, Ansys.

Dashkov Alexey Valerievich¹, Doctoral Student

e-mail: tldashkov@gmail.com

Barmin Ilya Andreevich¹, Master's Degree Student

e-mail: iluha_barmin@mail.ru

Nikitaev Igor Vladimirovich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: inikitaev@bk.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article deals with the design of ship telescopic gangway, operating conditions in extreme conditions and design of the gangway boom. The selection of material is carried out taking into account the properties required for work in cold climate conditions. Particular attention is paid to the calculation of the strength of the gangway boom and the possibilities of reinforcing the telescopic boom design.

Keywords: Telescopic ramp, drilling platforms, boom, strength calculation, stress, strain, Ansys.

Судовой телескопический трап представляет собой устройство поворотного типа, используемое для безопасного перемещения персонала между судном и буровой платформой. Условия эксплуатации трапа: рабочая температура до -28 °С, температура в

походном режиме до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, обледенение, отсутствие или минимальная качка судна при работе трапа, сильная вибрация при движении судна во льдах, сильная раскачка судна.

Основные составляющие конструкции трапа приведены на Рисунке 1: стрела трапа с основной и телескопической частями; механизм наклона стрелы вверх и вниз от горизонтали; накопительная палуба на основной раме; механизм поворота основной рамы по часовой и против часовой стрелки; механизм поворота вокруг продольной оси трапа (компенсация поперечного наклона трапа); основание, монтируемое на фундаменте палубы; комплект гидравлического оборудования; комплект электротехнического оборудования; комплект приборов безопасности; закрытая кабина оператора с основным пультом управления.

Проектируемый трап не имеет активной системы компенсации колебаний судна. Все механизмы трапа обеспечивают статическое позиционирование элементов трапа для «прицеливания» к точке присоединения на платформе или точке укладки на судне. При стыковке трапа с платформой механизм телескопирования обеспечивает поджатие оконечного устройства к точке присоединения на платформе с постоянным усилием, механизм изменения угла наклона трапа и поворота основной рамы переводятся в режим свободного перемещения.

В данной статье приведено исполнение стрелы трапа с основной и телескопической частями, соответствующие прочностным характеристикам.



Рисунок 1 – Телескопический трап в штатном режиме работы

Проектирование стрелы трапа

Материал

Сталь для использования в морских сооружениях в условиях крайнего севера должна поглощать энергию удара не менее 27 Дж при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. Для обеспечения лучшей свариваемости материала процентная доля углерода не должна превышать 1,2% [2], кремния не более 0,4 % [3].

Материалом для изготовления силовых профилей стрелы трапа выбрана сталь F36W. Эта сталь характеризуется высокой прочностью, коррозионной стойкостью и

сопротивляемостью к слоистым разрывам для конструкций, работающих при низких температурах [4]. Свойства стали F36W приведены в Таблице 1. Химический состав стали F36W приведен в Таблице 2.

Таблица 1

Свойства стали F36W

| Марка стали | Плотность ρ , г/см ³ | Предел текучести σ_t , МПа | Предел прочности σ_b , МПа | Относительное удлинение δ , % | Минимальная рабочая температура Т°С | Энергия удара К, Дж |
|-------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| F36W | 7,85 | 355 | 490-630 | 21 | -60 | 50 |

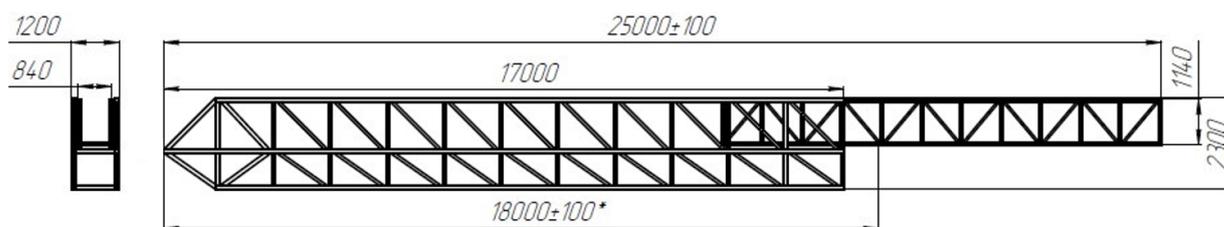
Таблица 2

Химический состав стали F36W

| C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Mo | V | Nb | Al | Cu |
|-----------|---------|----------|--------|---------|---------|--------|---------|----------|-----------|-----------|---------|
| 0,07-0,11 | 0,1-0,4 | 1,15-1,6 | до 0,8 | до 0,05 | до 0,01 | до 0,2 | до 0,08 | 0,02-0,1 | 0,02-0,05 | 0,02-0,06 | до 0,35 |

Габаритные размеры стрелы трапа, размеры сечений силовых профилей

Габаритные размеры стрелы трапа в двух положениях показаны на Рисунке 2. Сечения силовых профилей указаны в Таблице 3.



*Размер при укладке трапа по-походному

Рисунок 2 – Габаритный чертеж каркаса стрелы трапа

Таблица 3

Сечения силовых профилей

| Ширина a, мм | Высота b, мм | Толщина t, мм | Площадь поперечного сечения A, см ² | Справочные величины для осей | | |
|--------------|--------------|---------------|--|------------------------------|------------------------------|-----------------|
| | | | | x – x, y – y | | |
| | | | | I_x, I_y , см ⁴ | W_x, W_y , см ³ | i_x, i_y , см |
| 50 | 50 | 5,0 | 8,36 | 26,98 | 10,79 | 1,80 |
| 70 | 70 | 5,0 | 12,36 | 84,52 | 24,15 | 2,62 |
| 100 | 100 | 5,0 | 18,36 | 270,9 | 54,19 | 3,84 |

Схема фиксации стрелы трапа и действующие нагрузки показаны на Рисунке 3.

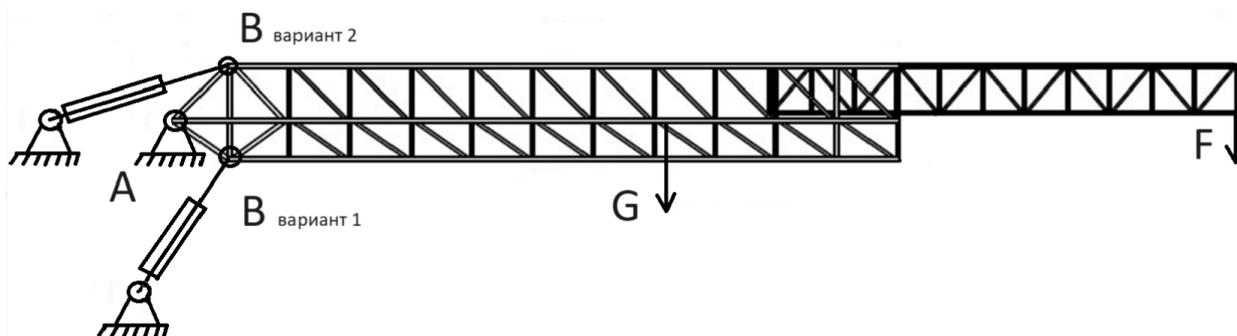


Рисунок 3 – Схема фиксации стрелы трапа и приложение нагрузки

- А – шарнирно неподвижная опора, соединяющая стрелу трапа с основной рамой [5];
- В вариант1 – нижний узел, соединяющий стрелу трапа с механизмом наклона стрелы на основной раме;
- В вариант2 – верхний узел, соединяющий стрелу трапа с механизмом наклона стрелы на основной раме;
- $F = 3000 \text{ Н}$ – сила тяжести пассажиров в количестве 3 человек (в режиме эвакуации раненного пассажира допускается одновременный переход по трапу 3 человек). Сила F приложена к концу стрелы, так как трап при стыковке с буровой платформой по оси Z фиксируется только механизмом наклона стрелы;
- $M = 3900 \text{ кг}$ – общая масса стрелы трапа;
- $G = 38220 \text{ Н}$ – сила тяжести стрелы трапа.

Статический расчет прочности стрелы трапа

Расчет прочности проводился в программном комплексе Ansys методом конечных элементов [6]. В данном расчете не учтены волнение моря и динамические нагрузки, действующие на трап.

На Рисунке 4 и 5 показаны напряжения, действующие на элементы каркаса стрелы трапа, и деформация стрелы при креплении механизма наклона стрелы на нижний узел согласно варианту 1, изображенным на Рисунке 3 [7].

На Рисунке 6 и 7 показаны напряжения, действующие на элементы каркаса стрелы трапа, и деформация при креплении механизма наклона стрелы на верхний узел согласно варианту 2, изображенным на Рисунке 3.

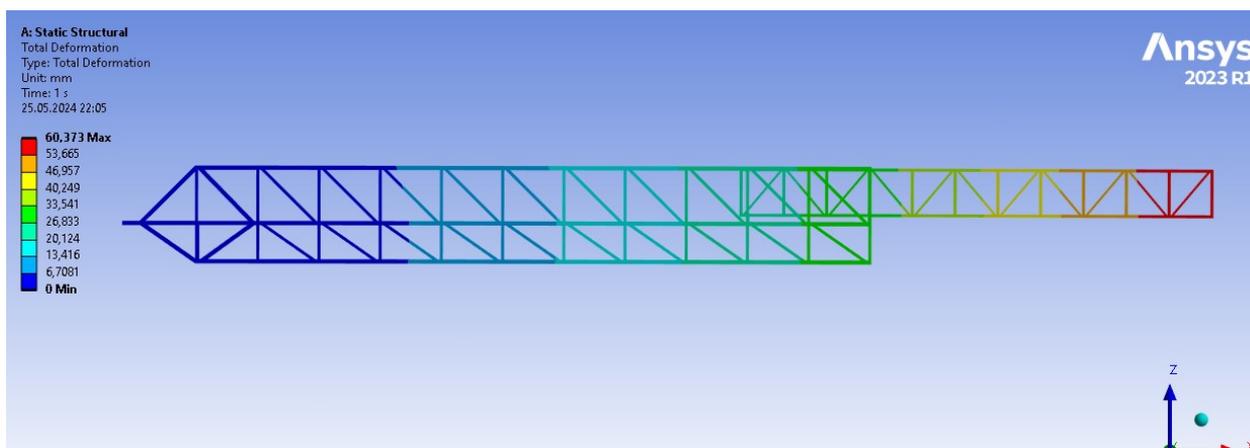


Рисунок 4 – Деформация стрелы трапа (вариант 1)

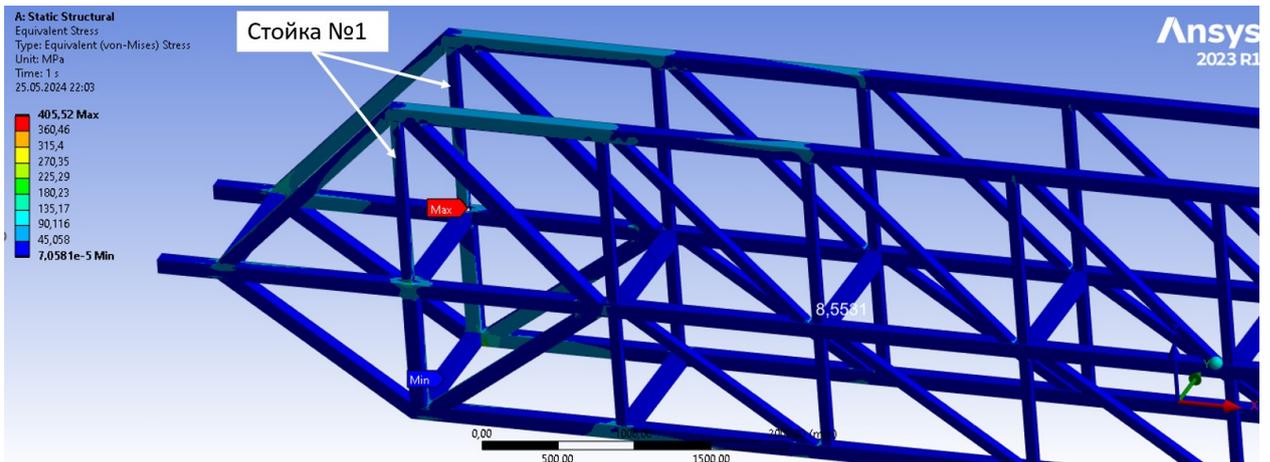


Рисунок 5 – Напряжение (вариант 1)

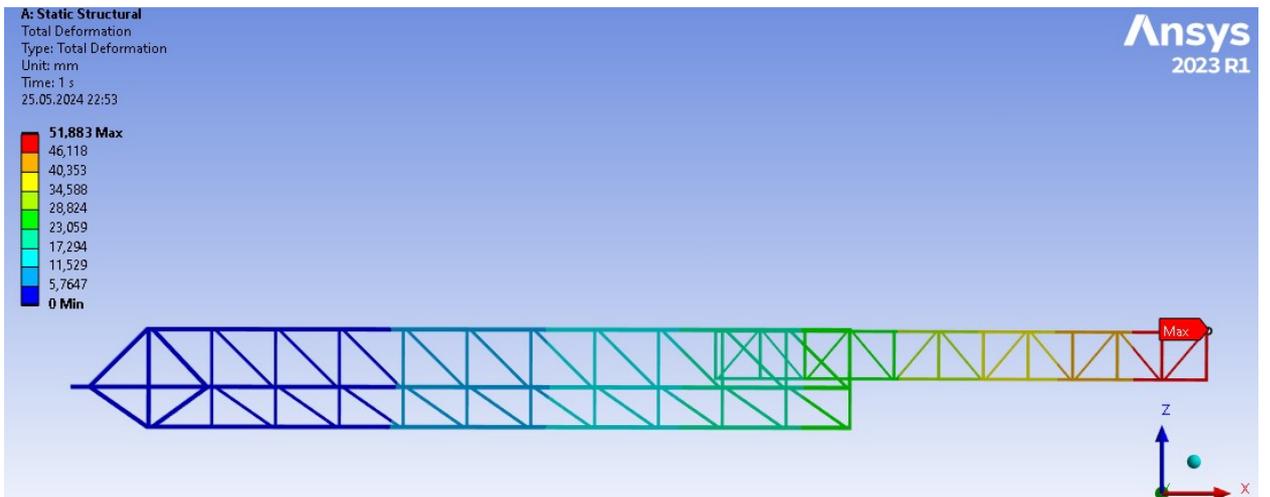


Рисунок 6 – Деформация стрелы трапа (вариант 2)

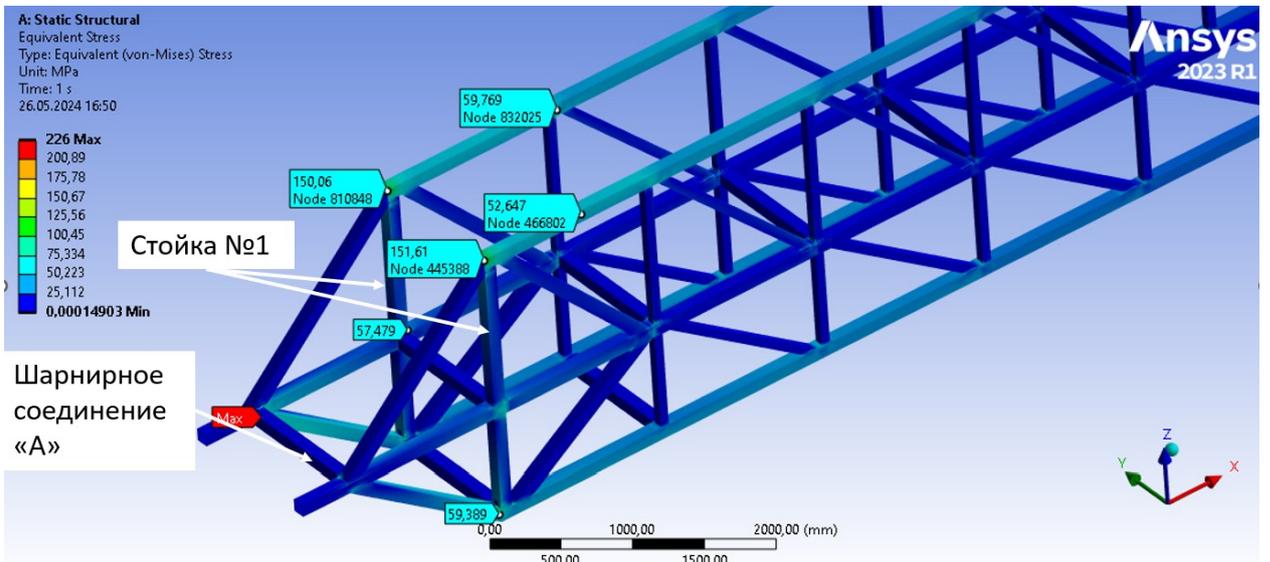


Рисунок 7 – Напряжение (вариант 2)

Анализ расчета прочности

Наибольшую нагрузку силовые профили получают в сварных соединениях.

Согласно варианту 1 (крепление механизма наклона стрелы на нижний узел) расчет прочности показал максимальную деформацию 60 мм, максимальное напряжение 406 МПа в зоне сварного соединения стоек №1 с продольными балками основания стрелы. Данное напряжение превышает предел текучести стали F36W – 355 МПа, поэтому принято решение усилить стойки №1, увеличив сечение, и перенести механизм наклона стрелы на верхний узел согласно варианту 2.

Согласно варианту 2 максимальная деформация составила 52 мм, максимальное напряжение в сварном соединении балки, имитирующем шарнирно-неподвижное соединение «А», составило 226 МПа. При пределе текучести стали F36W – 355 МПа коэффициент запаса составил 1,57. Однако, предел текучести сварного шва составляет не более 210 МПа.

Усиление стоек №1 и перенос механизма наклона стрелы на верхний узел улучшили прочностные характеристики стрелы трапа, но для положительных результатов анализа прочности при совокупных нагрузках (полное волнение моря и динамические нагрузки на трап), требуются дополнительные исследования по возможным усилениям конструкции и уменьшением массы стрелы трапа.

Список литературы:

1. Пресняков Н.И., Кудишин Ю.И. Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий и сооружений. – Москва, 2011. – 86 с.
2. ГОСТ 27772-2021. Межгосударственный стандарт. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические требования.
3. Гуляев А.П. Чистая Сталь. Металлургия. – Москва 1975. – 183 с.
4. Марочник стали и сплавов. – URL: https://splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=2453
5. Схема нагрузки заделка шарнир. – URL: <https://triptonkosti.ru/23-foto/shema-nagruzki-zadelka-sharnir.html>
6. Пронин В.А., Жигновская Д.В., Цветков В.А. Введение в расчетную платформу Ansys Workbench: Лабораторные работы. Часть 1. – Университет ИТМО. – Санкт-Петербург, 2019. – 48 с.
7. Никитаев И. В. Определение напряженно-деформированного состояния консольного крана / И. В. Никитаев // Научно-исследовательская и проектная деятельность в образовательном процессе : сборник научных трудов. – Казань : Общество с ограниченной ответственностью "САНТРЕМ", 2023. – С. 126 – 132. – EDN FDYFID.

