

НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА КОРПУС ПЛАВУЧЕГО КРАНА

В.А. Кулак, магистрант
Российский университет транспорта
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-5-4-125-128

Аннотация. В статье рассмотрены основные нагрузки, которые действуют на корпус плавучего крана при его работе. Указано при каких условиях плавучий кран используется для выполнения нормальных работ. Проанализированы условия, при которых возникают основные нагрузки, действующие на корпус плавучего крана. Указаны варианты, для которых происходит расчёт сил, действующих на плавучий кран. Приведены проблемы, которые возникают при действии данных нагрузок. Описано влияние нагрузок, действующих на центральную колонну и металлоконструкции поворотной части. Приведена схема действия нагрузок на плавучий кран при качке, а также основные уравнения её расчёта без учёта присоединённых масс.

Ключевые слова: плавучий кран, нагрузки, плавучесть, остойчивость, рыскливость, качка.

Использование плавучих кранов широко распространено в современной строительной промышленности. В процессе эксплуатации кранов возникают значительные нагрузки на корпус плавучих кранов, которые могут в ряде случаев вызывать большие напряжения в элементах конструкции и даже стать причиной отдельных повреждений [1]. Выявление основных нагрузок, действующих на корпус плавучего крана во время его работы, является важным для обеспечения безопасности и эффективности.

Для нормальной работы плавучий кран должен обладать достаточным запасом плавучести, остойчивости и иметь допустимую рыскливость для перегрузки грузов [2]. Выполнение этих требований связано с правильным выбором главных размеров корпуса плавучего крана, а также с расположением по высоте общего центра тяжести корпуса [4].

Способность плавучего крана находиться в заданном положении относительно водной поверхности называется плавучестью. Плавучий кран можно рассматривать как свободное твердое тело, равновесие которого обеспечивается при равенстве нулю суммы проекций всех сил на осях координат и суммы моментов всех сил относительно каждой оси координат. На плавкран с подвешенным к стреле гру-

зом действует сила плавучести, а также силы тяжести всех их элементов. Поэтому плавучий кран будет находиться в равновесии при следующих условиях: равнодействующая сил тяжести элементов крана и всех запасов равна силе плавучести; центры тяжести крана и величины расположены на одной вертикали [3].

Общую силу тяжести определяют для следующих вариантов: кран в походном положении и с 10%, 50%, 100% запасом топлива, смазочных масел и воды; кран в рабочем положении с номинальным грузом на крюке при максимальном вылете стрелы и с 10%, 50%, 100% запасом топлива, смазочных масел и воды [3]. В соответствии с этими вариантами нагрузок выполняют 12 вариантов расчетов величин сил тяжести, которые удобнее представлять в табличной форме [3].

Способность плавучего крана возвращаться в исходное положение после прекращения действия внешних сил, называется остойчивостью. После прекращения действия кренящего момента корпус плавучего крана должен возвращаться в исходное положение под действием восстанавливающего момента.

Существуют два понятия остойчивости: статическая и динамическая. Мерой статической остойчивости является восстанавливающий момент, динамическая остой-

чивость характеризуется работой, совершаемой восстанавливающим моментом при наклонении корпуса плавкрана.

При изучении статической остойчивости различают поперечную и продольную остойчивость и считается, что кренящий момент, наклоняющий корпус плавкрана, прикладывается медленно от нуля до своего конечного значения.

Способность плавучего крана перемещаться в горизонтальной плоскости при выполнении грузовых операций называют рыскливостью. При большой рыскливости возможны удары корпуса плавучего крана о корпуса рядом стоящих судов или причальную стенку, а также обрыв швартовых канатов. Из-за изменения крена и дифферента при работе плавучего крана не удается обеспечивать такое закрепление корпуса к причалу или судну, которое полностью исключает подвижность корпуса в горизонтальной плоскости [3].

Физическую модель рыскливости крана можно упрощенно рассматривать состоящей из двух последовательных процессов: свободное движение корпуса плавучего крана без связи до встречи с одним из препятствий, движение корпуса со связью до полной его остановки в горизонтальной плоскости [3].

Визуальные наблюдения и экспериментальные исследования показывают, что подвижность корпуса плавучего крана в горизонтальной плоскости без связей значительно больше, чем со связями, поэтому объективный критерий для оценки рыскливости плавучего крана целесообразно разрабатывать на базе исследования движения динамической системы корпус – поворотная часть – груз без связей [3].

Выбор физически обоснованного критерия рыскливости связан с отысканием такой безразмерной величины, которая позволила бы объективно сравнивать между собой различные плавучие краны в отношении их рыскливости. В качестве такого критерия, например, можно принять безразмерную величину напряжения в швартовном канате либо величину, пропорциональную ей. В этом случае для одного и того же швартовного каната напря-

жение в нем у более рыскливых кранов будет, естественно, больше.

Можно считать, что в начальный период при запуске механизмов поворотной части одновременно с возрастанием кинетической энергии до максимального значения происходит выборка слабины швартовых канатов. После этого кинетическая энергия плоского движения корпуса плавучего крана в течение малого промежутка времени переходит в потенциальную энергию растяжения швартовного каната [3].

В результате наклонения плавучего крана появляются нагрузки на центральную колонну и конструкции поворотной части [5]. Центральная цапфа крана, поворотная часть которого вращается по круговому опорному рельсу, является неподвижной и предназначена для расположения внутри неё кабелей питания электроэнергией механизмов и для аварийного удержания от опрокидывания поворотной части [5]. В целях обеспечения нормальной устойчивости поворотной части проверяют прочность центральной цапфы для ураганного ветра и не вращающегося крана [2].

Нормальное напряжение в опасном сечении колонны определяют суммированием напряжений растяжения и изгиба. Из-за возникающих при работе крана углов крена и дифферента палуба корпуса оказывается наклоненной относительно горизонтальной плоскости. Сила тяжести поворотной части или отдельного ее элемента имеет постоянное вертикальное направление и при наклоненной палубе, составляющие от этой силы в плоскости, параллельной палубе, будут препятствовать или способствовать вращению крана и изменению вылета стрелы в зависимости от направления движения механизмов. Поэтому появляются нагрузки на механизмы поворота и изменения вылета, вызываемые наклонением крана.

Плавучий кран подвержен всем видам качки, особенно при переходе через озера, моря и водохранилища. Качка происходит как на волнении, так и на тихой воде и вызывает действие инерционных нагрузок на конструкции плавкрана.

На тихой воде качка плавучего крана возможна от действия порывов ветра, внезапной отдачи груза, неравномерного всплывания дока.

При определении сил инерции, действующих на кран при качке, бортовую и килевую качки можно рассматривать раздельно, а вертикальную не учитывать из-за малых возникающих при этом сил инерции [3].

На волнении боковая качка складывается из: гармонических колебаний корпуса плавучего крана относительно продольной оси корпуса и перемещения продольной оси по круговой орбите (рис. 1, а, б) [3].

Килевая качка складывается из: гармонических колебаний корпуса плавкрана относительно его поперечной оси корпуса и перемещения продольной оси по круговой орбите (рис. 1, в) [3].

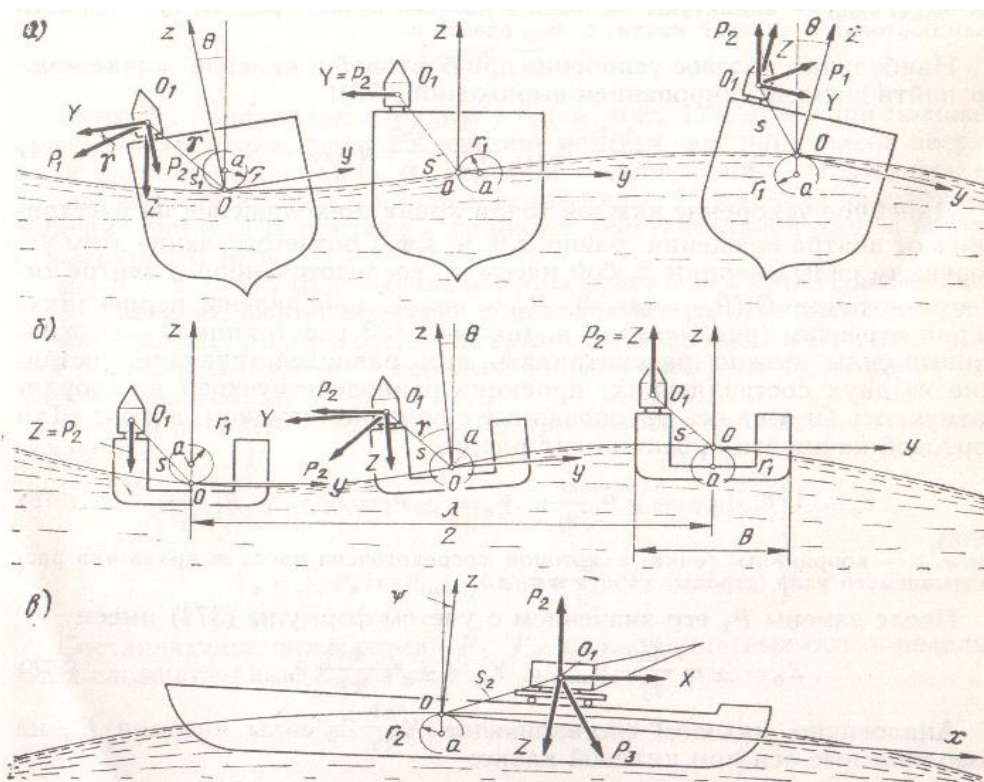


Рис. 1. Схемы действия нагрузок на плавучий кран при качке

Принимая положение плавучего крана в начальный момент времени без крена ($\theta_0 = 0$), и без дифферента ($\psi_0 = 0$), можно записать уравнения гармонических колебаний соответственно относительно продольной и поперечной осей [3]:

$$\theta = \theta_{max} \cdot \sin \frac{2\pi}{\tau_1} \cdot t; \quad \psi = \psi_{max} \cdot \sin \frac{2\pi}{\tau_2} \cdot t(1)$$

где θ_{max} , ψ_{max} – амплитуды бортовой и килевой качки, град;

τ_1 , τ_2 – периоды волн бортовой и килевой качки, с;

t – время, с.

Наибольшее угловое ускорение при бортовой и килевой качке можно найти если дифференцировать выражения [0]:

$$\theta'' = \frac{4\pi^2}{\tau_1} \cdot \theta_{max}; \quad \psi'' = \frac{4\pi^2}{\tau_2} \cdot \psi_{max} (2)$$

Линейное ускорение каждой точки плавучего крана, находящейся на расстоянии s от центра вращения, равно $s_1\theta''$ и $s_2\psi''$. Соответствующие этим ускорениям силы инерции любой массы m, сосредоточенной в центре тяжести – точке O ($P_1 = ms_1\theta''$; $P_2 = ms_2\psi''$), направлены перпендикулярно радиусам s_1 , s_2 . Указанные силы можно рассматривать как равнодействующие силы, состоящие из двух составляющих: проекции равнодействующей на координатные оси.

натную ось O_z и на ось O_y , связанные с корпусом плавкрана. Для бортовой качки эти проекции сил равны [3]:

$$Z_\theta = \pm m \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \theta_{max} y; Y_\theta = \pm m \frac{4\pi^2}{\tau_1^2} \theta_{max} z(3)$$

Аналогично находятся составляющие X_ψ, Z_ψ силы инерции P_2 на координатные оси при килевой качке [3]:

$$Z_\psi = \pm m \frac{4\pi^2}{\tau_2^2} \psi_{max} x; \quad Y_\psi = \pm m \frac{4\pi^2}{\tau_2^2} \psi_{max} z(4)$$

Проведя анализ выражений (3) и (4), можно заметить, что в них не учитываются присоединенные массы. Значение которых может оказать существенное влияние на значения ускорений [3].

Библиографический список

1. Балашов М.Г. Позиционирование и компоновка основных элементов корпуса полупогружных плавучих кранов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Нижний Новгород, 2022.
2. Российское классификационное общество. Правила классификации и постройки судов. – Москва, 2020.
3. Гаранин Н.П., Брауде В.И., Артемьев П.П. Грузоподъемные машины на речном транспорте. – М.: Транспорт, 1991. – 319 с.
4. Несин Д.Ю. Определение основных элементов крановых судов большой грузоподъемности с полноповоротным верхним строением. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Нижний Новгород, 2019.
5. Игнатович В.С., Кузьмина А.В., Перепада К.В. Анализ тяжелых плавучих кранов и особенностей их эксплуатации // Научные проблемы водного транспорта. – 2021. – №68. – С. 68-80.

LOADS ACTING ON THE BODY OF A FLOATING CRANE

V.A. Kulak, Graduate Student
Russian University of Transport
(Russia, Moscow)

Abstract. The article discusses the main loads that act on the body of a floating crane during its operation. It is indicated under what conditions the floating crane is used to perform normal work. The conditions under which the main loads acting on the hull of a floating crane arise are analyzed. The variants for which the forces acting on the floating crane are calculated are indicated. The problems that arise when these loads are applied are presented. The influence of loads acting on the central column and metal structures of the rotary part is described. The scheme of the action of loads on a floating crane during rolling is given, as well as the basic equations of its calculation without taking into account the connected masses.

Keywords: floating crane, loads, buoyancy, stability, yawing, pitching.