

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ

Розглянуто загальні відомості про металоконструкції мостових перевантажувачів і нормативні навантаження.

Рассмотрены общие сведения о металлоконструкциях мостовых перегружателей и нормативные нагрузки.

The review of metal designs of bridge faucets-unloaders is offered.

В настоящее время в Украине остро встал вопрос гарантийного продолжения сроков эксплуатации мостовых перегружателей. Подавляющее большинство перегружателей эксплуатируется с 1965 г. с гарантированным сроком эксплуатации в 25 лет.

Продление сроков службы мостовых перегружателей с обеспечением надежности за пределом нормативных сроков службы является важной экономической задачей. При продлении срока службы должна обеспечиваться стабильная работа мостовых перегружателей, особенно необходимая в технологическом процессе электрогенерирующих тепловых станций.

Общие сведения

В современных конструкциях перегружателей на металлоконструкцию приходится около 65 %, а на механизмы и электрооборудование соответственно 30 и 5 % общей массы. Основные размеры (пролет, высота, длины консолей, подмостовой габарит и т. п.) перегружателей определяются условиями их эксплуатации.

Металлоконструкция перегружателя состоит из моста и двух опор, одна из которых жесткая, другая – гибкая или шарнирная. Жесткая опора воспринимает и передает на рельсы крановых путей вертикальные реакции, а также реакции от продольных и поперечных горизонтальных нагрузок. Гибкая опора предназначена для того, чтобы воспринимать и передавать на крановые пути вертикальные нагрузки, а также горизонтальные нагрузки, действующие поперек перегружателя. При одинаковой жесткости опор нагрузки, действующие вдоль моста, распределяются между обеими опорами поровну.

Мост представляет собой пространственную конструкцию замкнутого или незамкнутого типа.

Опоры перегружателя в зависимости от типа перегружателя выполняются в виде плоских или пространственных конструкций высотой

15...25 м. Опорные узлы их соединяются стяжками и прикрепляются к балансирам тележек механизма передвижения. Стяжки используют для установки автоматических и ручных противоугонных захватов, а также для расположения на них электрооборудования.

В зависимости от типа грейферной тележки различают металлоконструкции перегружателей: с ездой по низу с грейферной тележкой нормального (опорного) типа, расположенной в пределах внутренних габаритов моста, или подвесного типа, устанавливаемой снаружи моста; с ездой поверху с двухконсольной грейферной тележкой опорного типа или с поворотным грейферным краном; с угловой грейферной тележкой.

По типу конструктивных схем металлоконструкции перегружателей подразделяют на решетчатые, трубчато-балочные, комбинированные и коробчато-балочные.

Основные случаи нагружения

Перегружатели, как правило, входят в состав оборудования, обеспечивающего непрерывный технологический процесс погрузочно-разгрузочных операций, поэтому к ним предъявляются высокие требования с точки зрения прочности и надежности. Механизмы перегружателей рассчитывают с учетом режима работы механизмов. Расчет металлоконструкций производят с учетом режима работы перегружателей в целом.

В соответствии с методикой, разработанной во ВНИИПТМАШе, внешние нагрузки, действующие на мост перегружателя (в нашем случае на перегружатель), определяют для двух состояний: рабочего и нерабочего. При этом под нерабочим понимается такое состояние, когда перегружатель не работает из-за ветра большой силы, сейсмических нагрузок и находится в исправном (рабочем) состоянии. Нагрузки нерабочего состояния могут также дей-

ствовать на перегружатель, когда он находится в ремонте.

Расчет производят, когда на перегружатель в рабочем состоянии действуют нормальные нагрузки (вариант А) и максимальные нагрузки (вариант Б). При нерабочем состоянии рассчитывают перегружатель, когда на него действуют максимальные нагрузки нерабочего состояния (вариант В).

Нагрузки, действующие на металлоконструкции перегружателей, разделяются на постоянные, временные и особые. К постоянным относятся нагрузки, сохраняющие свое значение в течение всего эксплуатационного периода (вес металлоконструкции, предварительное напряжение конструкции). К временным относятся нагрузки, изменяющие свое значение в различные периоды эксплуатации (вес материала в перегрузочных устройствах; нагрузки при передвижении грейферной тележки; нагрузки на обслуживающие площадки от веса людей, ремонтных материалов, деталей; нагрузки при передвижении перегружателя; инерционные и перекосные нагрузки; ветровые нагрузки; вес обледенения конструкций; температурные воздействия; нагрузки, возникающие при перевозке, монтаже или реконструкции). К особым относятся нагрузки, возникающие редко, чаще в аварийных ситуациях (сейсмические воздействия; нагрузки при ударе грейферной тележки или крана о буфер; перекосные нагрузки при аварийном перекосе перегружателя).

Весовые нагрузки металлоконструкций. Масса перегружателя, в том числе и металлоконструкций, в значительной степени зависит от его конструктивной схемы. С применением жесткой системы вместо шарнирной масса перегружателя уменьшается на 14 %, при этом масса металлоконструкций снижается на 26 %.

Для предварительных эскизных подсчетов массу металлоконструкций с достаточной степенью точности можно определять, используя существующие аналогии и графики массы. При этом масса в % по отдельным узлам распределяется так: мост – 80 (70); жесткая опора – 10 (15); гибкая опора – 7 (12); лестницы и площадки – 3. Первые цифры относятся к перегружателям жесткой системы с решетчатой конструкцией, цифры в скобках – к перегружателям трубчато-балочной конструкции.

Более точным является способ подсчета массы с помощью коэффициента

$$\mu = \frac{G}{G_T},$$

где G – действительная масса конструкции; G_T – теоретическая масса конструкции

$$G_T = \sum_{i=1}^n Fl\gamma,$$

где n – число элементов конструкции; F – площадь сечения элемента; l – длина элемента; γ – объемная масса материала.

В этом случае на основании вычисленных усилий подбирают сечения элементов конструкции и рассчитывают их площади.

Фактическая масса конструкции, как правило, несколько (до 5%) превышает проектную в результате замены сортамента, дополнительных технологических деталей и плюсовых допусков на размеры прокатной стали. Это превышение массы при расчете по предельным состояниям учитывается коэффициентом перегрузки n .

Воздействия грейферной тележки. Давление от массы металлоконструкций грейферной тележки, оборудования и груза передается на подтележечный рельс через ходовые колеса.

Динамическое воздействие грейферной тележки (с грузом или без него) на металлоконструкции учитывается динамическим коэффициентом ψ . Так, для металлоконструкций моста и опор $\psi = 1,2$, для металлоконструкций ездовых балок и элементов их креплений к мосту крана $\psi = 1,5$. Приведенные значения динамических коэффициентов распространяются на полную массу грейферной тележки с грузом [1, с. 47].

Горизонтальные продольные нагрузки T , возникающие при передвижении грейферной тележки в период пуска и торможения, принимаются равными 0,1 суммы давления P всех ее ходовых колес и приложены на уровне головки подтележечных рельсов.

Горизонтальные поперечные нагрузки H , возникающие вследствие конусности поверхностей ходовых колес грейферной тележки, исчисляются как 0,1 величины давления P на колесо и приложены на уровне головки подтележечных рельсов.

В результате ударов ходовых колес о выступающие части подтележечных рельсов на стыках, неплотного закрепления рельсов, а также боковой инерции тележки при больших скоростях передвижения возникают боковые силы (боковые удары). Величины этих сил принимаются равными 0,1 вертикального давления на ходовое колесо. Эти силы приложены поперек рельса на уровне его головки.

Нагрузки, возникающие при передвижении перегружателя. При передвижении перегружателя в периоды пуска и торможения, а также вследствие толчков и ударов возникают инерционные силы

$$H_i = \frac{(G_M + G_O + G_T)\vartheta_n}{gt_T},$$

где G_M – вес металлоконструкций; G_O – вес оборудования; G_T – вес тележки; ϑ_n – установленная номинальная скорость передвижения перегружателя; t_T – время разгона (торможения) перегружателя.

Инерционные силы от веса металлоконструкций и оборудования приложены в центрах тяжести соответствующих узлов, а от веса грейферной тележки – на уровне головки рельсов подтележечных путей.

Подкрановые пути обычно имеют неровности, перепады в стыках, уклоны и другие дефекты, вызывающие вертикальные динамические воздействия от весовых нагрузок. Подобные дополнительные нагрузки от веса металлоконструкций, оборудования и грейферной тележки учитываются коэффициентом толчков k_T .

Во время движения перегружателя одна из опор стремится опередить другую, вызывая тем самым перекося конструкции. Для ориентировочных расчетов перекося нагрузка H_S , действующая на металлоконструкцию, может быть принята равной 5...20 кг на тонну веса перегружателя в зависимости от конструктивной схемы, пролета, высоты, жесткости опор, качества укладки подкрановых путей и состояния узлов механизмов передвижения (балансиров, ходовых колес и т.п.)

Воздействие перекосящих нагрузок принято учитывать смещением одной опоры относительно другой. Перекосящая деформация в рабочем состоянии принимается равной 0,3...0,8 % величины пролета. Металлоконструкции рассчитывают при максимальной перекосящей деформации (при пролете 76,2 м она составляет 600 мм).

Ветровые нагрузки. При расчете металлоконструкций перегружателей нормативная ветровая нагрузка принимается равномерно распределенной. Наветренную площадь элементов перегружателя можно определить как произведение теоретической площади и коэффициента заполнения. При этом теоретическую площадь вычисляют по осевым геометрическим размерам, а коэффициент заполнения принимают равным 0,4...0,6 для решетчатых конструкций и 1 – для сплошностенчатых.

Ветровые нагрузки, действующие на перегружатель, существенно влияют на общее сопротивление передвижению перегружателя и тележки, распределение давлений на ходовые колеса перегружателя и элементы металлоконструкций, устойчивость перегружателя, а также

на число и мощность противоугонных устройств.

Воздействие ветра на конструкции перегружателей учитывается при расчете механизмов передвижения перегружателя и тележки, механизма поворота стрелового крана у перегружателей с ездой по верху, устойчивости перегружателя, а также при расчете и конструировании устройств, предотвращающих угон перегружателя ветром большой силы, при расчете металлоконструкций перегружателя и расчете на прочность деталей механизма передвижения (колес, осей и др.).

Ветровая нагрузка на краны (перегружатели) создается давлением ветра на наветренную площадь перегружателя, тележки и груза (грейфера) и зависит от наветренной площади, скорости ветра, пульсации этой скорости и формы сечения элементов крана, обтекаемых воздухом.

Скорость ветра изменяется во времени и характеризуется определенным рассеиванием (дисперсией) относительно своего среднего значения. Соответственно этому давление ветра (ветровой напор) можно представить в виде двух составляющих: постоянной составляющей q_0 , величина которой практически не изменяется в течение некоторого промежутка времени, и случайной, переменной составляющей, значение которой определяется пульсацией, порывами ветра за это же время.

Порывы ветра, т.е. быстрое изменение скорости ветра во времени, создают определенные динамические нагрузки на элементы конструкции перегружателя. Ветровая нагрузка, действующая на элементы перегружателя при одной и той же скорости ветра, зависит от формы сечения этих элементов, их аэродинамического сопротивления: чем более обтекаемую форму имеет сечение элемента, тем меньше нагрузка. ГОСТ 1451-65 «Краны подъемные. Нагрузка ветровая» учитывает все основные факторы, определяющие ветровые нагрузки.

Распределенная ветровая нагрузка ω на наветренную поверхность конструкции крана в кН/м^2

$$\omega = q_0 n c \gamma \beta,$$

где q_0 – скоростной напор ветра на высоте до 10 м над поверхностью земли в кгс/м^2 ; n – поправочный коэффициент на возрастание скоростного напора в зависимости от высоты над поверхностью земли (воды); c – аэродинамический коэффициент; γ – коэффициент перегрузки; β – коэффициент, учитывающий динамическое воздействие, вызываемое пульсациями скоростного напора ветра.

При малых и средних скоростях и скоростном напоре перегружатель должен (может) работать, преодолевая сопротивление ветра; при ветре большой силы перегружатель должен быть остановлен и застопорен, т.к. значительные ветровые нагрузки создают опасность угона или опрокидывания перегружателя.

Принято различать ветровые нагрузки рабочего состояния (рабочих ситуаций) и ветровые нагрузки нерабочего состояния (нерабочих ситуаций). При этом имеются в виду только нерабочие ситуации, создаваемые действием ветра большой силы, в то время как перегружатель находится в рабочем состоянии (кроме ситуации действия ветра большой силы на перегружатель, находящийся в ремонте).

Поправочный коэффициент n на возрастание скоростного напора ветра зависит от высоты элементов или зоны крана над поверхностью земли.

Аэродинамический коэффициент c подробно регламентируется ГОСТом 1451-65. Значения его находятся в пределах 0,35...2,6.

По отношению к поверхности земли (нулевой отметке) перегружатели могут быть установлены различно: на поверхности земли или на отметке, близкой к нулевой (перегружатели, работающие на теплоэлектростанциях); на эстакадах или других сооружениях, поднятых над уровнем земли, (рудные перегружатели, перегружатели морских портов). В последнем случае, при определении скоростного напора ветра, на уровне головки рельса необходимо учитывать зависимость этого напора от высоты над уровнем земли (воды).

Значения коэффициента перегрузки γ зависят от метода расчета крановых конструкций. Так, при расчете по методу предельных состояний $\gamma = 1,1$; при расчете по методу допустимых напряжений $\gamma = 1,0$.

Ветровая нагрузка на i -й элемент конструкции перегружателя:

$$W_n = \omega_i F_i,$$

где ω_i – распределенная ветровая нагрузка на 1 м^2 i -го элемента; F_i – расчетная наветренная площадь i -го элемента.

Ветровая нагрузка, действующая на перегружатель (кран):

$$W_n = \sum_{i=1}^n \omega_{si} F_i,$$

где n – число элементов перегружателя, находящихся под воздействием ветровой нагрузки.

Температурные нагрузки. Воздействие колебаний температуры принимается одинаковым

для всех частей металлоконструкций независимо от их географической ориентации при температурном перепаде $70 \text{ }^\circ\text{C}$ и коэффициенте линейного расширения $\alpha_t = 0,000012$. Температурные нагрузки учитываются только для систем, статически неопределимых (рамных схем).

Выводы

Практика показала, что наиболее часто выходящим из строя элементом мостового перегружателя является подтележечная балка (особенно балки кранов, находящихся за пределами гарантийных сроков эксплуатации).

Современные методы математического моделирования крановых конструкций с использованием различных программных продуктов, таких как: Structure CAD, Лира, Robot, ANSYS и т.д. позволяют создать модель системы «крановая тележка – подкрановая балка» с учетом всех вышеизложенных нормативных нагрузок, а также с учетом влияния таких факторов, влияющих на долговечность, как коррозия, усталость металла и т.п.

Данная модель, выполненная с применением программно-вычислительного комплекса SCAD for WINDOWS, позволяет определить точное напряженно-деформированное состояние, максимально приближенное к реальному, что, в свою очередь, позволит выдать практические рекомендации по наиболее рациональному методу усиления подкрановых балок.

Подробное описание модели системы, особенности моделирования, полученные усилия и напряжения в элементах модели, а также экспериментальная проверка полученных данных будет изложена в последующих публикациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беглов, Б. В. Мостовые перегружатели [Текст] / Б. В. Беглов, П. И. Кох, В. Н. Онищенко, Д. П. Окулов. – М.: Машиностроение, 1974. – 224 с.
2. Мельников, Н. П. Металлические конструкции [Текст] / Н. П. Мельников. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.
3. Гохберг, М. М. Справочник по кранам [Текст]: в 2 т. / М. М. Гохберг. – Л.: Машиностроение, 1988.
4. Нормы проектирования стальных конструкций мостовых перегружателей и козловых кранов большой грузоподъемности [Текст] : РТМ 24.090.62-80.

Поступила в редколлегию 23.04.2010.

Принята к печати 26.04.2010.