

в) дубляж посредством выдержки визуальной взаимосвязи «здание – ландшафт» в городской среде.

В условиях усиливающейся урбанизации, сопровождаемой ухудшением общей экологической обстановки, наблюдается стремление вернуть природу в город, в его отдельные функциональные зоны.

Художественный образ формируется из впечатлений, которые остаются у людей в результате их восприятия. Использование в проектировании территории предприятия художественных и ландшафтно-архитектурных приёмов позволяет создать композиции, выделяющие фрагмент городской среды за счёт воздействия на психоэмоциональное состояние работников.

УДК 621.873:539.3

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, О. И. ЯКУБОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Подъемно-транспортные машины могут эксплуатироваться только при полной исправности и должны безаварийно выдерживать рабочую нагрузку в течение длительного времени. При проектировании таких машин расчет несущей конструкции выполняется на основе анализа тех положений, при которых наблюдаются наибольшие внутренние изгибающие моменты в элементах конструкции. Так, у подъемных кранов параметры грузовысотной характеристики определяются, главным образом, прочностью стрелы крана. В то же время, как показывает опыт эксплуатации рассматриваемых машин, повреждение конструкции может быть связано с недостаточной прочностью соединительных элементов, а их разрушение происходит при положении стрелы, значительно удаленном от границы грузысотной характеристики.

Нам было предложено проанализировать причины разрушения места скрепления кронштейна, соединяющего балку основной стрелы со штоком гидроцилиндра, устанавливающим люльку стрелового крана в вертикальное положение. С этой целью потребовалось установить значение максимально допустимой нагрузки на люльку подъемного крана, обеспечивающей прочность установленной на стреле крана накладке, к которой крепится данный кронштейн.

Выполненный нами анализ сил, действующих на кронштейн, показал, что нагрузка на него не зависит от вылета стрелы. В то же время здесь важен угол, который удлиненная секция стрелы, соединенная с люлькой, составляет с выдвигной секцией стрелы. Для определения силы, действующей на кронштейн со стороны штока гидроцилиндра, составлено уравнение моментов для удлиненной секции стрелы. Оказалось, что наибольшее плечо от приложенной нагрузки имеет место при горизонтальном положении рассматриваемой секции, а плечо силы, действующей на шток гидроцилиндра, будет минимально в том случае, при котором оси удлиненной и выдвигной секций стрелы параллельны. Расчет показал, что при максимально допустимой массе 300 кг груза в люльке, которая, в свою очередь, имеет массу 70 кг, сила T , действующая на рассматриваемый кронштейн в опасном положении, составляет 240 кН.

Затем нами были определены напряжения в сварном шве, соединяющем кронштейн с накладкой. Для этого использован алгоритм расчета стыкового сварного шва, подверженного действию изгибающего момента $M_{из}$, приведенный в [1]. Значение названного момента равно произведению силы T на расстояние от оси отверстия кронштейна. Нормальные напряжения σ_p в зоне сварного шва, непосредственно примыкающей к накладке, могут быть рассчитаны по формуле

$$\sigma_p = \frac{M_{из}}{W_{ш}}$$

где $W_{ш}$ – момент сопротивления сварного шва, который определяется длиной и шириной сварных швов. Подстановка значений величин привела к значению $\sigma_p = 119$ МПа.

Сварной шов взаимодействует с накладкой, представляющей собой пластину, по двум прямоугольным площадкам. На границах области в накладке имеет место сдвиг материала, при этом в ней возникают касательные напряжения. Для их определения рассмотрено равновесие элементарного участка сварного шва. Приравниванием элементарных сил, которые действуют на участок шва со

стороны кронштейна и накладки, получено выражение, позволяющее оценивать касательные напряжения в накладке в зависимости от нормальных напряжений в сварном шве,

$$\tau = \frac{\sigma_p z}{2t}$$

где z – толщина кронштейна; t – толщина накладки. Для использованных в рассматриваемой конструкции размеров получено значение $\tau = 131$ МПа.

Место соединения деталей рассматриваемой конструкции работает в условиях многократной нагрузки-разгрузки. Поэтому при анализе прочности возникающие в ней напряжения следует сравнивать не только с допускаемыми напряжениями при статической нагрузке, но и с пределом выносливости. Результаты многочисленных экспериментов [2] показывают, что предел выносливости стали марки Ст3 при испытании на изгиб с симметричным циклом нагружения σ_{-1} составляет от 170 до 210 МПа. При расчетах на прочность по касательным напряжениям значение предела выносливости τ_{-1} рекомендуется определять из соотношения $\tau_{-1} = 0,6\sigma_{-1}$. Учитывая названный диапазон значений нормальных напряжений, получаем, что τ_{-1} составляет от 102 до 126 МПа. Таким образом, предел выносливости по касательным напряжениям оказывается меньшим 131 МПа и при действии циклических динамических нагрузок возможно разрушение накладки.

Для верификации результатов, полученных на основе упрощенных соотношений сопротивления материалов, была создана конечноэлементная модель узла крепления в программном комплексе ANSYS. Использовалась методика моделирования, подробно описанная в работе [3]. При нахождении напряжений и деформаций, возникающих в узле крепления под действием силы $T = 240$ кН, принималось, что все рассмотренные детали имели одинаковые физические характеристики: модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$. С учетом симметрии конструкции, расчеты выполнялись для ее половины. В качестве приложенной нагрузки выступали сосредоточенные силы, приложенные к ключевым точкам оси шарнира.

Анализ результатов расчетов показал, что под действием приложенной силы вследствие относительно невысокой жесткости накладке между ее центральной частью и корпусом стрелы крана образуется значительный зазор. Его появление приводит к перекосу кронштейна, вследствие которого напряжения на внешнем ребре сварного шва оказываются большими, чем на внутреннем. Таким образом, накопление повреждений начинается с появления микротрещин в области накладке, примыкающей к концу сварного шва. В дальнейшем их развитие может стать причиной разрушения и преждевременному выходу подъемного крана из строя.

Отметим, что конечноэлементные расчеты выполнены на основе использования модели упругого деформирования конструкции. Из-за этого напряжения в угловой области сварного шва оказались большими, чем предел текучести материала. Наличие пластических деформаций в области окончания сварного шва приводит к более равномерному распределению напряжений в наиболее нагруженных областях. При этом принципиально ситуация, описывающая напряженно-деформированное состояние сварного шва и материала накладке не изменяется.

Таким образом, результаты выполненного анализа показали, что при существующей толщине накладке возникающие в ней напряжения при действии определенной документацией статической нагрузки меньше предела прочности материала. Поэтому однократное нагружение, соответствующее номинальной нагрузке на люльку, не может привести к разрушению конструкции. В то же время полученные расчетом значения напряжений в накладке оказываются близкими к пределу текучести материала и меньшими его предела усталости. Поэтому многократное нагружение накладке может приводить к ее усталостному разрушению. Для обеспечения прочности конструкции требуется увеличение толщины накладке не менее чем на 1,7 мм.

Проведенный анализ демонстрирует необходимость тщательного учета особенностей работы соединительных элементов различных конструкций при их проектировании.

Список литературы

- 1 Башеев, С. М. Сварные соединения / С. М. Башеев // Детали машин в примерах и задачах. – Минск : Выш. шк., 1970. – 488 с.
- 2 Трощенко, В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов / В. Т. Трощенко, Л. А. Сосновский. – Киев : Наукова думка, 1987. – Ч. 1. – 505 с.
- 3 Shimanovsky, A. Modeling of the pantograph-catenary wire contact interaction / A. Shimanovsky, V. Yakubovich, I. Kapliuk // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 148. – P. 284–290.