

## УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РАМЫ С ПОВЫШЕННЫМИ СТОЙКАМИ

Ю. Д. ЗОЛОТУХИН, Г. М. КУЗЕМКИНА

Белорусский государственный университет транспорта

Несколько лет назад с целью увеличения строительной высоты зданий кафедрой «Строительные конструкции, основания и фундаменты» БелГУТа совместно с Гомельсельстройпроектом были разработаны составные железобетонные трехшарнирные рамы с повышенными стойками. Их предлагалось использовать в качестве каркасов при строительстве одноэтажных сельскохозяйственных и промышленных зданий различного назначения.

Железобетонная рама с повышенными стойками состоит из двух полурам, соединенных в коньке. Каждая полурама образуется Г-образным элементом – стойкой и линейным элементом – ригелем. Г-образный и линейный элементы жестко стыкуются в области минимального изгибающего момента стальными накладками, причем элементы стыка обеих полурам соединяются в раме металлической затяжкой, обеспечивающей жесткость конструкции.

В процессе разработки описанной рамы был выполнен ее статический расчет по программе «Лира», представляющей собой вычислительный комплекс для прочностного расчета конструкций по методу конечных элементов. Участки стоек и ригелей с монотонно изменяющимся переменным сечением были разбиты на зоны с близкими параметрами сечения. Это позволило промоделировать раму одиннадцатью прямолинейными стержневыми элементами с различной постоянной по длине жесткостью. Затяжка, шарнирно закрепленная по концам, представлялась в виде стержня с нулевой жесткостью. При расчете были приняты следующие характеристики материалов бетона класса В25 (М300): модуль упругости  $E_b = 2,7 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,17$ ; модуль упругости стали затяжки  $E_s = 2,06 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона для стали  $\mu = 0,25$ . Рама рассчитывалась на действие нагрузок от собственного веса, длительно действующей нагрузки от веса покрытия, временной снеговой нагрузки, определенной для III снегоходного района. Ветровая нагрузка на раму не учитывалась. В ходе расчетов были подобраны сечения продольной и поперечной арматуры деталей рамы.

Модель, использованная при расчете по программе «Лира», не полностью учитывала реальные свойства железобетона, в частности, нелинейность его деформационных характеристик. Поэтому с целью проверки напряженно-деформированного состояния рамы были проведены испытания на модели, параметры которой подбирались по методу механического подобия. Результаты экспериментальных исследований показали, что несущая способность, жесткость и трещиностойкость конструкции обеспечены.

При длительной эксплуатации железобетонных рам с повышенными стойками наблюдались случаи преждевременного разрушения отдельных элементов несущих конструкций и появление усталостных трещин. В связи с этим появилась необходимость уточнения условий, при которых обеспечивается надежная и долговечная эксплуатация этих конструкций под действием повышенных нагрузок.

Для уточненного расчета напряженно-деформированного состояния рамы использована система ANSYS, представляющая собой конечно-элементный программный комплекс для прочностного расчета конструкций. Новая расчетная схема рамы с повышенными стойками учитывала все основные особенности ее геометрии, описанной ранее, и без серьезных упрощений, использованных при проектировочном расчете. Поскольку конструкция является симметричной, оказалось достаточным произвести расчеты для одной полурамы. При создании сетки конечных элементов Г-образный и линейный элементы моделировались плоскими треугольными элементами постоянной толщины. С целью получения достаточной точности расчетов густота сетки была принята 20 элементов на длину линии вдоль стойки и 40 элементов – вдоль ригеля. Схема разбиения железобетонной полурамы на конечные элементы была получена в результате автоматической генерации сетки системой ANSYS. Расчет выполнен с учетом наличия шарнирных соединений в местах соединений полурамы с фундаментом и со второй полурамой (в коньковом узле). Действие затяжки моделировалось со средоточенной силой.

Физико-механические характеристики материалов и действующие нагрузки были приняты такими же, как и при расчете по программе «Лира».

В результате расчета получены значения перемещений элементов конструкции, а также напря-

жений в них. При нормативной равномерно распределенной нагрузке на ригель железобетонной рамы  $q_n = 11,4 \text{ кН/м}$ , которая равна контрольной для оценки жесткости и трещиностойкости, прогиб в середине пролета составил 46,2 мм, что меньше контрольного прогиба, равного 61 мм. В результате испытаний натурной конструкции при первом загружении рамы нормативной нагрузкой после выдержки конструкции в течение 30 минут прогиб составил 45 мм. Сопоставление полученных расчетом значений перемещений с результатами испытаний натурной конструкции показало высокую достоверность принятой математической модели.

Получены графики зависимостей вертикального перемещения точек ригеля от нагрузок. Характер перемещений точек железобетонной рамы представляет собой нелинейную зависимость. Деформации увеличиваются в направлении от места сопряжения стойки с ригелем к середине конструкции. Максимальное перемещение зафиксировано в коньковом узле. При изменении величины симметричных нагрузок характер распределения перемещений по площади конструкции сохраняется, меняются только их численные значения. В то же время при испытании модели и натурной конструкции максимальные перемещения зафиксированы на расстоянии 6,8 м от грани опоры. Такое несовпадение вызвано, по-видимому, тем, что при моделировании способа соединения двух полурам было принято допущение об отсутствии сил трения в шарнире, соединяющем полурамы. В реальной же конструкции соединение частей осуществляется при помощи металлических накладок, которые несколько изменяют свойства соединения.

Получены значения компонент напряжений в верхнем и нижнем поясах железобетонной рамы с повышенными стойками, а также картины интенсивности распределения напряжений по поверхности конструкции и по ее сечению. Максимальные растягивающие напряжения наблюдаются в верхней части Г-образного элемента рамы, а максимальные сжимающие напряжения – в месте сопряжения стойки с ригелем. Именно в зоне максимального изгибающего момента в результате текучести арматуры и разрушения сжатой зоны бетона произошло разрушение рамы при испытании натурной конструкции и в случаях частичного или полного обрушения при длительной эксплуатации. Это свидетельствует о необходимости ее местного упрочнения.

Расчеты, проведенные для рамы с затяжкой и для рамы без затяжки, показали, что затяжка, включенная в работу, повышает жесткость рамы, несколько снижает растягивающие напряжения в наиболее напряженном верхнем поясе Г-образного элемента и повышает напряжения в линейном элементе ригеля, который без затяжки напряжен незначительно.

Результаты исследования позволяют выработать рекомендации по местному усилению железобетонной рамы и подобрать оптимальное значение силы натяжения затяжки с целью обеспечения надежной и долговечной эксплуатации конструкции под действием повышенных нагрузок.

УДК 69.035

## ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ПУТЕЙ

И. А. КУДРЯВЦЕВ

Белорусский государственный университет транспорта

Оценка состояния элементов верхнего строения пути для обеспечения безопасности перевозки грузов в настоящее время приобретает первостепенное значение. При этом пути пересекают ряд подземных коммуникаций, долговечность которых, как показывает практика, не столь велика. В первую очередь, к таким следует отнести канализационные коллекторы, располагающиеся на некоторой глубине под магистральными путями.

Анализ аварий ряда коллекторов показал, что значительная часть отказов имеет механическое происхождение, и они весьма разнообразны. Примерами предельных состояний, приводящих к выходу конструкций из строя или, по крайней мере, требующих прекращения их эксплуатации, могут быть обрушение, разрушение конструкций из-за действия агрессивной среды, влияние дополнительной нагрузки на элемент, подвергнутый разрушению, что может создать предпосылки к загрязнению среды. Самые отказы носят постепенный характер: параметры системы по мере эксплуатации ухудшаются.

Основными факторами, в значительной мере влияющими на надежность работы коллекторов, по результатам наших наблюдений являются: