

Оценка влияния податливости опорного узла стальной колонны

Многочисленными исследованиями узлов стальных каркасов установлено, что жесткие узлы обладают некоторой податливостью, а шарнирные узлы способны воспринимать часть изгибающего момента. Отмечено, что при большом количестве конструктивных решений узлов стальных каркасов мало сведений об их реальной изгибной жесткости.

Целью исследования является определение степени влияния податливости опорного узла стального каркаса на распределение усилий в его элементах. Конструктивное решение исследуемого опорного узла принято податливым. Опорный узел состоит из стальной опорной плиты, на которую опирается фрезерованный торец колонны. Численные исследования плоского стального каркаса с учетом податливости опорных узлов производились в программном комплексе «ЛИРА» в линейной постановке. Предложена расчетная стержневая модель опорного узла, учитывающая изгибную жесткость опорной стальной пластины. Стальную опорную пластину необходимо моделировать тремя стержнями. Жесткость среднего стержня должна приниматься бесконечно большой. Его длина должна быть равной высоте колонны. Два крайних стержня необходимо моделировать с жесткостью, равной жесткости опорной пластины. Длины крайних стержней должны соответствовать расстоянию между гранью колонны и анкерными болтами.

По результатам исследования установлено, что учет податливости опорных узлов стального каркаса приводит к уменьшению опорных моментов на 0,5–10 %. Податливость опорных узлов не оказывает существенного влияния на усилия в остальных элементах и узлах каркаса. Деформативность каркаса максимально увеличивается на 4 % в уровне перекрытия первого этажа. Даны рекомендации по учету податливости узлов при проектировании каркасов многоэтажных зданий.

Ключевые слова: *стальной каркас, опорный узел, податливость узлов, стержневая модель.*

Одной из проблем, возникающих при проектировании стальных каркасов, является выбор конструктивных решений узлов сопряжений элементов, обеспечивающих прочность, жесткость и надежность здания.

В практике проектирования стальных каркасов узлы рассматривают либо как шарнирные, либо как жесткие. Однако исследованиями было доказано, что шарнирный узел воспринимает часть изгибающего момента, а жесткий узел обладает некоторой деформативностью. Определению реальной жесткости узлов стальных конструкций посвящены работы [1–6].

При достаточно большом количестве конструктивных решений узлов стальных каркасов мало сведений об их реальной изгибной жесткости. Поэтому выбор конструктивных решений узлов и оценка влияния их податливости являются актуальной задачей.

Одним из трудоемких и ответственных узлов стального каркаса является опорный узел колонны – база колонны. В зависимости от ее конструктивного решения возможно жесткое или шарнирное сопряжение колонны с фундаментом.

Наиболее часто на практике применяется конструктивное решение шарнирного опорного узла колонны, состоящего из опорной

плиты и анкерных болтов (рис. 1). В этом случае усилие с колонны на опорную плиту может передаваться через фрезерованный торец колонны или сварные швы.

Конструктивное решение жесткого опорного узла колонны предусматривает заделку анкерных болтов, установленных в плоскости действия момента, в бетоне фундамента. Конструктивные решения жестких опорных узлов делятся на три типа. Первый тип – анкерные болты размещены в пределах опорной плиты (рис. 2, а). Второй тип – анкерные болты размещены в пределах опорной плиты с устройством консольных ребер (см. рис. 2, б). Третий тип – анкерные болты размещены за пределами опорной плиты с помощью траверс (см. рис. 2, в).

В настоящее время наибольший интерес представляет конструктивное решение жесткого опорного узла колонны, состоящего из опорной плиты, на которую опирается фрезерованный торец колонны (см. рис. 2, а). Так как существующие методы расчета стального каркаса не учитывают возможный некоторый поворот колонны от действия момента вследствие изгиба опорной плиты, при расчете стального каркаса перед инженером возникает вопрос о необходимости учета изгибной жесткости опорной плиты, т. е. податливости узла.

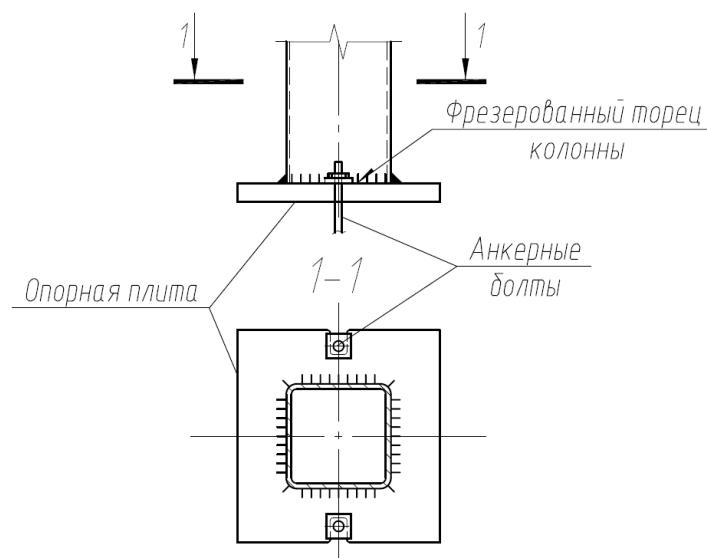


Рис. 1. Конструктивное решение шарнирной базы колонны

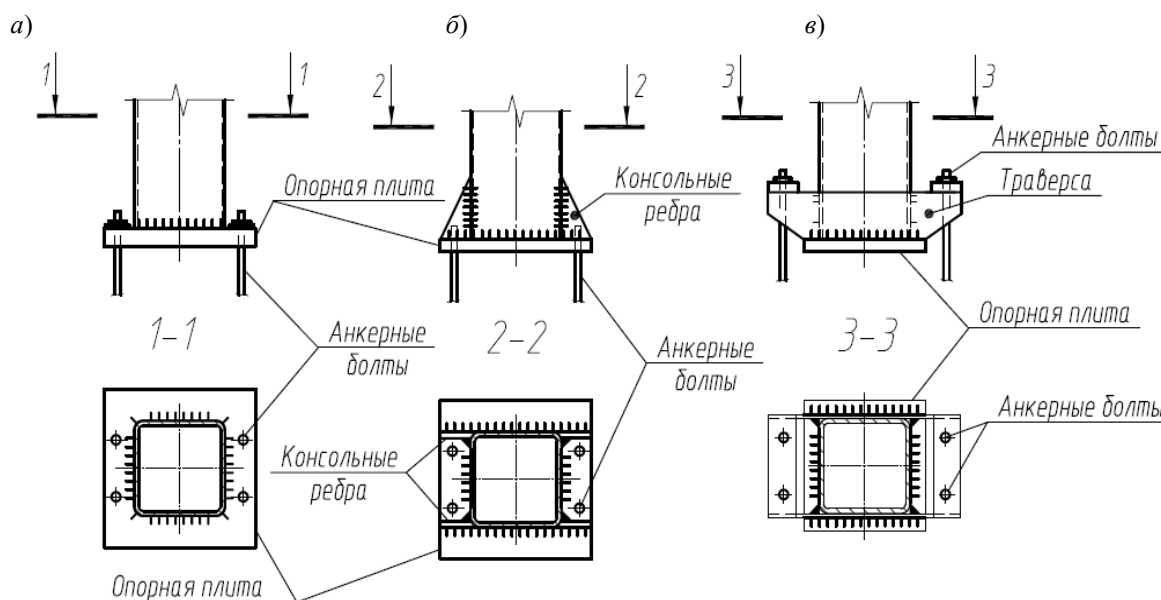


Рис. 2. Конструктивные решения жесткой базы колонны:

а – анкерные болты размещены в пределах опорной плиты; б – то же с устройством консольных ребер; в – анкерные болты размещены за пределами опорной плиты с помощью траверс

В работе [7] выполнены численные исследования податливости наиболее распространенных конструктивных решений жестких опорных узлов колонны стальных каркасов многоэтажных зданий. Узлы моделировались из плоских конечных элементов в программном комплексе «ЛИРА». Следует отметить, что исследование узлов производилось в отрыве от расчетной схемы. Нагрузки на узлы задавались на некоторой высоте колонны. Оценка податливости проводилась путем сравнения различных пространственных моделей жесткого опорного узла со стержневой расчетной моделью. В качестве критериев

оценки были приняты перемещения точек колонны и угол ее поворота. Авторами установлено, что конструктивные решения опорных узлов, выполненные с использованием траверс или консольных ребер, являются жесткими, т. е. соответствуют расчетной модели с жестким закреплением опор. Перемещения точек и углы поворота колонны данных узлов не превышают 10 % в сравнении со стержневой моделью. Конструктивное решение опорного узла, выполненного без ребер жесткости, т. е. только при помощи сварки фрезерованного торца колонн и опорной стальной пластины, является податливым. Перемещение

точек и угол поворота колонны этого конструктивного решения соответственно на 29 и 62 % больше, чем в стержневой модели.

Задачей данной работы является создание расчетной стержневой модели податливого опорного узла стального каркаса с целью оценки влияния его податливости на распределение усилий в элементах каркаса.

В качестве объекта исследования принят податливый опорный узел колонны, состоящий из опорной плиты, на которую опирается фрезерованный торец колонны. Конструкция исследуемого узла применяется в рамных или рамно-связевых каркасах многоэтажных зданий. Достоинством данного узла является легкость в изготовлении и монтаже. Расчетная модель исследуемого конструктивного решения опорного узла каркаса показана на рис. 3.

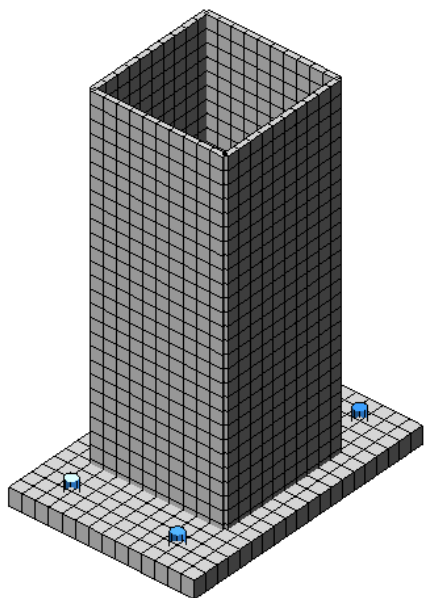


Рис. 3. Расчетная модель опорного узла колонны стального каркаса

Численные исследования рассматриваемого конструктивного решения опорного узла производились с использованием программного комплекса «ЛИРА» в линейной постановке.

Как показывает практика, результаты расчетов пространственного и плоского металлического каркаса в условиях линейно-упругого деформирования демонстрируют допустимую сходимость результатов [8, 9]. В связи с этим исследование податливости выбранного конструктивного решения опорного узла производилось на примере плоской рамы существую-

щего 4-этажного общественного здания. Каркас здания представляет собой металлический каркас, выполненный по рамно-связевой схеме с размерами в плане $25,8 \times 32$ м и шагом поперечных рам 4 м. Горизонтальная жесткость здания обеспечивается вертикальными связями по торцам каркаса. Расчетная схема рамы изображена на рис. 4.

По результату статического расчета на одновременное действие постоянной, временной и ветровой нагрузок были подобраны сечения элементов каркаса. Затем выполнено конструирование опорных узлов в соответствии с требованиями нормативных документов [10]. Принимаем следующие параметры опорного узла: сечение колонн – труба $300 \times 300 \times 8$ мм; опорная пластина размером $500 \times 340 \times 26$ мм; сварной катет 8 мм; анкерные болты диаметром 20 мм.

Авторами предлагается расчетная стержневая модель опорного узла, учитывающая податливость опорной плиты. На рис. 5 изображен сконструированный опорный узел и его расчетная стержневая модель. Стержневая модель состоит из жесткой вставки бесконечно большой жесткости и двух изгибаемых стержней. Длина жесткой вставки принимается равной высоте колонны. Длины двух изгибаемых стержней равны расстоянию от грани колонны до центра анкерных болтов, а их жесткость соответствует жесткости опорной пластины. Концы изгибаемых стержней закреплены шарнирно.

Процесс проектирования, учитывающий податливость узлов, может проводиться в три этапа. На первом этапе выполняется оценочный расчет с целью определения сечений элементов и конструктивных решений узлов. На втором этапе выполняется конструирование узлов и подбор тождественных им стержневых моделей. Также на этом этапе производится корректировка расчетной схемы каркаса. На третьем этапе осуществляется перерасчет стержневой модели стального каркаса. Целью третьего этапа является уточнение усилий в элементах и определение деформаций каркаса. После этого выполняется оценка прочности, устойчивости, жесткости и надежности каркаса.

В таблице представлены основные результаты расчетов плоского каркаса как со стандартной расчетной схемой, т. е. без учета податливости опорных узлов, так и с учетом их

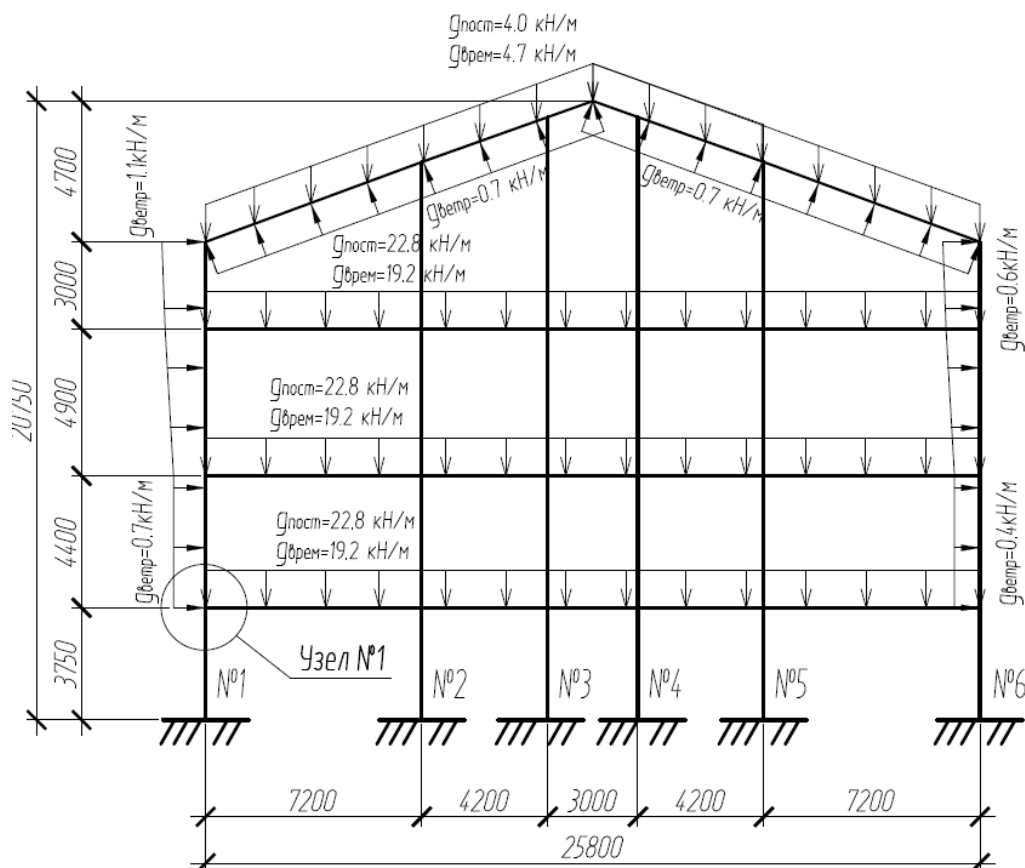


Рис. 4. Расчетная схема плоской рамы

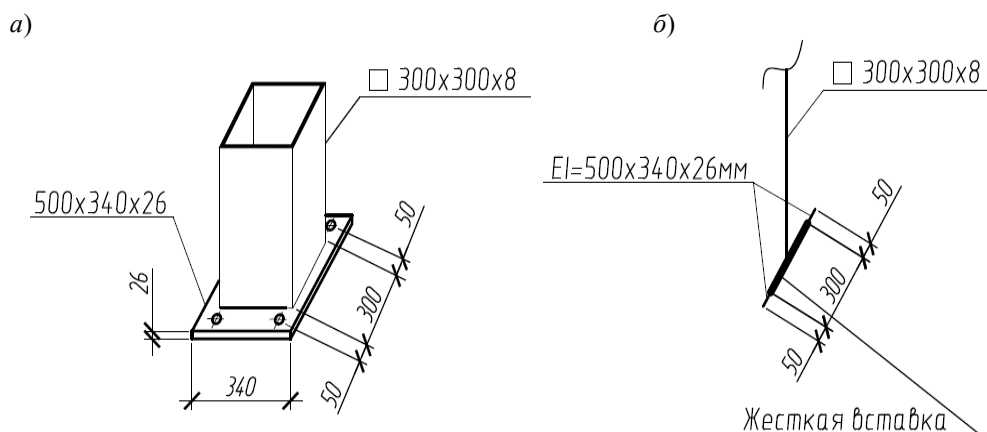


Рис. 5. Опорный узел стального каркаса:

а – сконструированный узел; б – расчетная стержневая модель узла

податливости. Все данные приведены при загрузении рамы постоянной, временной и ветровой нагрузкой.

Как видно из таблицы, учет податливости опорных узлов в плоском каркасе приводит к снижению опорных моментов на 0,5–10 %. Горизонтальные перемещения каркаса максимально увеличиваются в уровне перекрытия

первого этажа на 4,2 %, при этом пролетные и узловые моменты балок максимально уменьшаются на 1 %.

Таким образом, учет податливости опорных узлов позволяет выявить дополнительные резервы несущей способности системы здания и тем самым снизить материалоемкость колонн и опорных узлов каркаса.

Влияние податливости опорных узлов на усилия и перемещение

Расчетная схема каркаса	Опорный момент колонн M_y , кН					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Без учета податливости опорных узлов	-28,6	22,8	8,38	4,2	-10,8	38,2
С учетом податливости опорных узлов	-26,6	21,6	8,13	4,18	-9,77	36,1
Разница с расчетной схемой без учета податливости, %	7,0	5,3	3,0	0,5	10,0	5,5

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что разработка и совершенствование методов расчета, учитывающих

податливость опорных узлов, являются актуальной задачей.

Библиографический список

1. Должиков В. Н. Исследование влияния податливости соединений на напряженно-деформированное состояние стержневых конструкций с внутренней статической неопределимостью // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 10. С. 49–50.
2. Зубков В. А. Влияние деформативности соединений на распределение усилий между элементами сквозных пролетных строений // Исследование металлических мостов. 1979. № 110. С. 76–92.
3. Павлов А. Б. Учет реального поведения узлов при расчете рам стальных каркасов // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 6. С. 37–39.
4. Павлов А. Б. Основы проектирования стальных строительных конструкции каркасов зданий с учетом реальной изгибной жесткости и прочности узлов соединений их элементов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1996. 46 с.
5. Святошенко А. Е. Исследование напряженного состояния элементов узловых соединений // Проблемы прочности и пластичности: Сб. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. Н. Новгород: Нац. исслед. Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского, 2006. Вып. 68. С. 170–175.
6. Троицкий П. Н., Левитанский И. В. Исследование действительной работы сварного рамного узла крепления балок и рекомендации по их расчету // Материалы по металлическим конструкциям. М., 1977. Вып. 19. С. 120–131.
7. Карелин Д. А. Оценка податливости опорного узла стального каркаса // Наука, образование и инновации: Сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., 28 декабря 2015 г., Челябинск. Ч. 3. Уфа: Изд-во РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015. С. 74–77.
8. Варнавский В. С., Поворин А. С. Определение несущей способности металлического рамного каркаса с применением программного комплекса Лира // Строительная механика и конструкции. 2011. № 3. С. 113–121.
9. Варнавский В. С., Болотов А. О. Численное исследование несущей способности металлической рамы на основе программного комплекса Лира // Строительная механика и конструкции. 2014. № 9. С. 117–125.
10. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М.: Минрегион России, 2011. 172 с.

A. A. Novoselov, D. A. Karelin

Impact Assessment of the Steel Column Datum Node Deformation Capacity

Abstract. Rigid joints possess some deformation capacity, and pin joints percipient a part of flecnal moment. Numerous research works in this sphere reveal about it. There are a lot of framing schemes of steel framework joints, but there isn't any information about their real bending stiffness.

The investigation purpose is a definition of an influence degree of a datum node deformation capacity of the steel framework to force conditions in its elements. The framing scheme of the investigated datum node is closed non-rigid. Datum node consists of steel template on which the milled end of the column rests. Numerical studies of a flat steel frame, taking into account the datum node deformation capacity are recouped in the «LIRA-SAPR» software in a linear substitution. A datum node calculated rod model considering the bending stiffness of the steel template is suggested. The steel template is necessary simulated by three shanks. The central shank rigidity has to

take on infinitude. Its lengths has to be equal to column height. Two utmost shanks have to be simulated with the rigidity which is equal to the steel template. The lengths of the utmost shanks have to comply to distance between column plane and expansion-shell anchor bolts.

In consequence of the investigation is established, that accounting of the datum node deformation capacity of the steel framework is leaded to decrease the moment at point of fixation up to 10 %. The datum node deformation capacity isn't have a great impact to forces in other elements and frame joints. A frame deformation property is increased maximum by 4 % on the level of the first floor structure. Some recommendations on accounting of the node deformation capacity in the design of the multistory buildings frames are given.

Key words: *steel frame; supporting unit; the compliance units; the pivotal model.*

Новоселов Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Здания, строительные конструкции и материалы» СГУПСа. E-mail: alex19732009@mail.ru

Карелин Дмитрий Александрович – аспирант кафедры «Здания, строительные конструкции и материалы» СГУПСа. E-mail: karelin-dmitriy@mail.ru