

2. Использование двухпролетных профилированных настилов, образованных переклестыванием двух листов на средней опоре, может приводить к повышению их несущей способности на 35–74%. Оптимальные значения длины участка наложения профилей составляют 0,1–0,15 длины пролета.

3. Усовершенствована методика расчета многопролетных стальных профилированных настилов путем учета их усиления накладками и переклестыванием листов на промежуточных опорах.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting: EN 1993-1-3:2006. – Brussels: CEN, 2006. – 134 p.
2. Ho, H.C. Experimental investigation into the structural behavior of lapped connections between cold-formed steel Z sections / H.C. Ho, K.F. Chung // Thin-Walled Structures. – 2004. – № 42. – P. 1013–1033.
3. Yu, W.-W. Cold-formed steel design: fourth edition / Wei-Wen Yu, R.A. LaBoube. – New York: John Wiley & Sons Inc., 2010. – 491 p.
4. Билык, С.И. Экспериментальное исследование конструкций, выполненных из гнутых тонкостенных профилей / С.И. Билык, И.Д. Белов, А.Б. Глитин // Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве и архитектуре: сб. ст. междунар. конф. – Липецк: ЛГТУ, 2009. – С. 6–10.
5. Вычислительный комплекс SCAD / В.С. Карпиловский., Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, М.А. Милитаренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 592 с.
6. Семко, В.О. Экспериментальні дослідження міцності та деформативності сталевих профільованих настилів / В.О. Семко, С.О. Скляренко, Д.А. Прохоренко // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сб. науч. тр. – Одесса: ООО "Внешрекламсервис", 2013. – Вып. 17. – С. 212–217.

УДК 624.012.46

Рак Н.А.

О КЛАССИФИКАЦИИ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

Введение

Здания и сооружения, возведенные из сборного железобетона, представляют собой пространственные системы, состоящие из отдельных элементов, взаимодействующих между собой в узлах сопряжения. Проектирование сборных железобетонных элементов зданий и сооружений необходимо производить по усилиям, полученным из статического расчета по схемам, соответствующим действительному характеру взаимодействия элементов в составе каркаса. Степень взаимного влияния элементов в большой мере определяется деформативными свойствами соединений элементов друг с другом. При этом уточненные схемы должны быть ориентированы на возможности современной вычислительной техники, использовать соответствующий математический аппарат, в максимальной степени учитывать особенности деформирования соединений железобетонных элементов в составе здания или сооружения.

Практика проектирования железобетонных конструкций настоятельно требует расширения научных исследований в направлении уточнения расчетных схем зданий и сооружений. При этом уточненные схемы должны быть ориентированы на возможности современной вычислительной техники, использовать соответствующий математический аппарат, в максимальной степени учитывать особенности деформирования соединений железобетонных элементов в составе здания или сооружения.

Здесь следует отметить, что на важность проведения исследований в данном направлении теории расчета железобетонных конструкций неоднократно обра-

щало внимание на конференциях по бетону и железобетону, проходивших в бывшем СССР. Еще в 1975 г. проф. А.А. Гвоздев [1] отмечал: «...пожелания о совместном расчете надземных конструкций с фундаментами и основаниями, о широком учете пространственной работы конструкций и сооружений в целом, их геометрической и физической нелинейности, а также деформативности соединений своевременны и справедливы. Реализовать их, однако, не легко, и решение этих задач потребует немало времени и труда».

Требования нормативных документов к проектированию узлов сопряжения сборных железобетонных элементов

Следует отметить, что ранее действующие нормы проектирования железобетонных конструкций СНиП 2.03.01-84 [2] в самом общем виде регламентировали только требования к прочности и долговечности соединений, оговаривая, что они должны обеспечиваться с помощью различных конструктивных и технологических мероприятий.

В отличие от указанных норм в СНБ 5.03.01-02 [3] в подразделе 12.1 установлены более конкретные указания, касающиеся расчета соединения и соединяемых элементов. В частности установлено, что «при расчете сборных элементов следует учитывать влияние действительной деформативности и прочности соединений между ними...».

В Европейских нормах проектирования железобетонных конструкций [4] в подпункте 10.5.1(1) главы 10 «Дополнительные правила для сборных железобетонных элементов и конструкций» установлено, что:

«Расчет конструкций должен учитывать:

- поведение конструктивных элементов на всех стадиях строительства с использованием соответствующей геометрии и свойств для каждой стадии, их взаимодействия с другими элементами (например, совместная работа с монолитным бетоном, другими сборными элементами);
- поведение конструктивной системы, на которое влияет поведение соединений между элементами, с особым учетом возможной деформации и прочности соединений;
- неопределенности, возникающие вследствие ограничений и передачи усилий между элементами вследствие отклонений в геометрии и в положении элементов и опор».

В связи с этим проблема расчета сборных железобетонных элементов с учетом действительных условий их взаимодействия является актуальной и требует своего решения.

Роль узлов сопряжения железобетонных элементов в конструктивной системе каркасного здания

Конструктивная система каркасного здания состоит, как правило, из линейных (колонны, ригели) или плоских (диафрагмы, плиты) сборных железобетонных элементов, соединенных определенным образом друг с другом в узлах сопряжения. Таким образом, узлы сопряжения играют важную роль в создании собственно конструктивной системы здания.

Основная роль узлов сопряжения заключается в обеспечении неизменяемости взаимного положения элементов, обеспечении передачи расчетных усилий между ними и обеспечении пространственной жесткости каркаса здания.

Цель и задачи проектирования узлов сопряжения

Целью проектирования узлов сопряжения является обеспечения с требуемым уровнем надежности несущей способности и эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций каркасного здания на всех стадиях их жизненного цикла (возведение, эксплуатация, реконструкция, демонтаж).

Поставленная цель достигается последовательным решением ряда взаимосвязанных между собой задач:

1. Выбор конструктивной формы узлов сопряжения (с выбором материалов, назначением геометрических габаритов сопрягаемых элементов), обеспечивающей несущую способность конструктивной системы каркасного здания на всех циклах ее формообразования.

2. Выполнение статических расчетов несущих систем каркасного здания, последовательно создающихся в процессе их формообразования, на действие возникающих при этом нагрузок.

3. Выполнение проверок несущей способности узлов сопряжения и примыкающих к ним участков сборных элементов на всех этапах формообразования несущей системы.

Для достижения этих задач необходимо использовать научно обоснованную методику расчета узлов сопряжения, основанную на экспериментальных и теоретических исследованиях напряженно-деформированного состояния соединений различного типа между сборными железобетонными элементами.

При этом статический расчет должен выполняться по уточненным расчетным схемам каркаса здания и сооружения в целом, учитывающим условия взаимодействия сборных железобетонных элементов в соединениях между ними.

Принципы проектирования узлов сопряжения

При проектировании следует руководствоваться общими принципами формообразования строительных конструкций [5] и построения расчетных моделей системы [6], адаптированными применительно к узлам сопряжения.

Принцип безопасности. Узлы сопряжения должны разрабатываться с такими геометрическими параметрами элементов узла и физико-механическими характеристиками материалов, которые необходимы и достаточны для обеспечения безопасности несущей системы каркасного здания.

Принцип самосохранения. Узлы сопряжения должны обладать определенными ресурсами поглощения и рассеивания энергии в процессе своего необратимого деформирования, обеспечиваемыми достаточной пластичностью материалов, соответствующим подбором композиции материалов, специально создаваемой структурированностью элементов узла сопряжения и их дублированием.

Принцип управляемости. В структуру узла сопряжения на различных стадиях формообразования несущей системы здания должны включаться (при необходимости) дополнительные элементы, обеспечивающие управление напряженно-деформированным состоянием несущей системы, реакциями внутренних связей и т.п.

В связи с тем, что жесткостные параметры узлов сопряжения зависят от их конструкции, то целенаправленно изменяя конструктивное решение узлов, можно регулировать усилия в каркасе здания и сооружения, что создает предпосылки для более рационального проектирования элементов каркаса

Принцип композиции материалов. В системе узла сопряжения для соответствующих элементов должны применяться материалы, которые с наибольшей степенью должны проявлять свои прочностные и деформативные свойства при том напряженно-деформированном состоянии, которое возникает в этих элементах.

Принцип технологичности. Элементы узла сопряжения должны проектироваться таким образом, чтобы при принятой геометрической форме, соотношении размеров и допусках обеспечивалась возможность применения наиболее эффективных технологичных изготовления сопрягаемых в узле конструкций, их монтажа и эксплуатации.

Принцип структурирования. При решении перечисленных выше задач сборные элементы и соединения каждый на своем иерархическом уровне (по отношению к каркасу здания в целом) должны рассматриваться как механические модели различной сложности.

Одним из направлений совершенствования теории расчета конструкций является наиболее полный учет условий их взаимодействия. При этом термин "взаимодействие" применительно к теории расчета железобетона должен рассматриваться в рамках различных иерархических уровней:

1) уровень зданий и сооружений, т.е. систем конструктивных элементов – взаимодействие отдельных конструкций друг с другом по их контактам;

2) уровень отдельного конструктивного элемента (после образования трещин) – взаимодействие отдельных расчетных блоков по их контакту в сжатой и растянутой зонах;

3) уровень отдельного расчетного блока – взаимодействие бетона и стали по их контакту;

4) уровень бетона как композитного материала – взаимодействие компонентов структуры бетона (матрица в виде затвердевшего цементно-песчаного раствора и зерна крупного заполнителя).

Представленная иерархия уровней может быть еще расширена, например, в направлении структуры матрицы бетона, однако в целом отвечает задачам расчета железобетонных конструкций в современном понимании. Поскольку взаимодействие элементов нижнего уровня в рамках рассматриваемого иерархического уровня осуществляется по контактам, вполне обоснованно применение в рассматриваемом круге задач теории железобетона термина «контактное взаимодействие».

При контактном взаимодействии железобетонных конструкций передача усилия происходит по площади контакта, которая, как правило, имеет ограниченные размеры, занимает сравнительно небольшую часть нагружаемой плоскости конструкций. Усилие при контактном взаимодействии концентрируется только по небольшой части нагружаемой плоскости конструкций. В этой связи вполне правомерно использовать термин «концентрированное действие нагрузки».

Проведенные во многих странах экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций показали, что при концентрированном приложении нагрузки возможно несколько схем разрушения, характеризующихся доминирующим проявлением какого-либо компонента напряженно-деформированного состояния бетона.

Для стыковых соединений каркасных зданий в наибольшей степени характерна передача значительных по величине усилий сжатия от одного элемента к другому, что вызывает образование сложного напряженного состояния в бетоне, называемого местным сжатием. При этом размеры площади приложения нагрузки соизмеримы с размерами частиц крупного заполнителя, что способствует дополнительному увеличению уже имеющихся внутренних напряжений в бетоне, обусловленных прочностными и деформативными свойствами составляющих бетона.

В связи с этим рассмотрение вопросов прочности и деформативности бетона при местном сжатии должно базироваться на структурном подходе к бетону как к сложной многокомпонентной системе.

Принцип адекватности. Исходя из принципа адекватности, расчетная модель узла сопряжения тем более совершенна, чем большим количеством свойств оригинала она надделана.

Принцип обчислимости. Принцип обчислимости предполагает, что расчетная модель узла сопряжения должна быть обчислимой, т.е. должен существовать соответствующий математический аппарат для ее решения.

Принцип соответствия. Суть принципа соответствия состоит в том, математический аппарат, описывающий свойства новой расчетной модели узла сопряжения, должен быть более общим по сравнению с тем, что применяется для старой расчетной модели.

Принцип рациональности модели. При разработке расчетной модели узла сопряжения или несущей системы каркасного здания следует принимать во внимание, что ее сложность, а, следовательно, и точность модели не должна быть точнее исходных данных, используемых в расчете.

Классификация узлов сопряжения сборных железобетонных элементов каркасных зданий

В нормативных документах по проектированию железобетонных конструкций не содержится классификаций узлов сопряжений сборных железобетонных элементов по каким-либо признакам.

Изучение справочных изданий, бюллетеней международных организаций по бетону и железобетону, других научных изданий показало, что не наблюдается какого-либо единого подхода в вопросах классификации узлов сопряжений сборных железобетонных элементов.

Так, например, в справочнике [7] предложено классифицировать узловые сопряжения по типам стыкуемых элементов и по способу передачи усилия и связанным с ним конструктивными особенностями.

По типам стыкуемых элементов сопряжения разделяются на стыки колонн с фундаментами, стыки колонн друг с другом, стыки ригелей с колоннами, узлы опирания подкрановых балок, ферм, балок покрытий на колонны, узлы опирания панелей на ригели и т.д.

По способу передачи усилия и связанным с ним конструктивными особенностями сопряжения разделяются на стыки стальные и железобетонные.

К первым относятся стыки, в которых передача усилия выполняется через специальные закладные изделия, приваренные к рабочей арматуре стыкуемых элементов. Эти закладные изделия соединяются между собой сваркой или болтами.

Ко вторым относятся стыки, в которых через специальные закладные изделия передают только растягивающие усилия, а сжимающие усилия передают через контактирующие бетоны элементов или через раствор, уложенный между ними.

В руководстве [8] указано, что соединения могут быть классифицированы по-разному в зависимости от, например, типа элементов, которые должны быть соединены, и главной силой, которой соединение сопротивляется. Стандартные типы узлов сопряжения часто указываются в проектных справочниках или каталогах производителей сборных железобетонных элементов.

Более детально разработана классификация узлов сопряжения крупнопанельных зданий. Например, М.М. Холмянский [9] предложил классифицировать узлы соединения по виду усилий, передаваемых в узле на закладные детали соединяемых элементов. При этом имеются пять основных видов передачи усилий относительно плоскости закладной детали (отрыв, сдвиг в одном направлении, сдвиг в двух направлениях, отрыв со сдвигом в одном направлении, отрыв со сдвигом в двух направлениях). Кроме того, исходя из геометрической формы соединяемых элементов, предложено различать: соединения линейных элементов, примыкания этих элементов к плоским, сопряжения плоских элементов и т.д. При этом каждая из этих групп может делиться на подгруппы в зависимости от взаимного положения сопрягаемых элементов. Однако особенности классификации узлов в [9] детально не рассмотрены, только констатирован факт ее возможности, из которого вытекает целесообразность соответствующей классификации закладных деталей.

А.А. Филиппев и Г.С. Кобринский [10] предложили положить в основу классификации стыковых соединений оценку соединения по функционально-конструктивному назначению в системе здания. По этому признаку соединения разделены на две группы: стыковые соединения внутренних конструкций и стыковые соединения наружных ограждающих конструкций.

Соединения первой группы разделены на две подгруппы: горизонтальные и вертикальные. Каждая из подгрупп затем разделена по видам соединяемых элементов. Соединения второй группы разделены на три подгруппы: горизонтальные, вертикальные и узлы сопряжения наружных стен. Каждая из подгрупп также разделена по видам соединяемых элементов.

Кроме того, в [10] все стыковые соединения предложено разделить по конструктивному решению на две группы: силовые стыки и несилловые стыки (швы) между элементами.

K.S. Elliott [11] в основу классификации узлов положил вид передаваемого через них усилия: соединения, работающие на сжатие, сдвиг и растяжение; шарнирное соединение; соединение, воспринимающее изгибающий момент.

Кроме того, им была предпринята попытка классификации узлов сопряжения сборных железобетонных элементов, входящих в несущую систему каркасного здания, основанной на учете вида диаграммы «изгибающий момент- угол поворота».

Примерно аналогичный характер принят в [12] при классификации узлов сопряжения стальных конструкций, когда узлы сопряжения, исходя из вида диаграммы «изгибающий момент- угол поворота», могут быть классифицированы как шарнирные (pinned), жесткие (rigid) и полужесткие (semi-rigid).

В то же время K.S. Elliott [11] все рассмотренные им узлы сопряжения сборных железобетонных элементов отнес только в шарнирным или жестким. Хотя такое упрощение позволяет упростить статический расчет каркасного здания, его надо признать не совсем обоснованным.

В большинстве случаев стыки обладают определенной жесткостью и должны учитываться в расчетах как упругоподатливые. Причем податливость стыка может зависеть от уровня нагрузки, увеличиваясь с ее ростом. Кроме того, узлы сопряжения сами в свою очередь являются сложной системой переменной жесткости, зависящей не только от величины усилий, но от направления их направления. В этом случае можно говорить о конструктивно-нелинейной работе узлов.

Нелинейность деформирования узлов сопряжений обусловлена в первую очередь физической нелинейностью деформирования материалов (бетона и арматуры).

Для большинства типов узлов сопряжения сборных железобетонных элементов характерно проявление конструктивной нелинейности, а именно изменения расчетной схемы узла сопряжения при увеличении нагрузки или изменении направления усилия.

Кроме того, когда по мере формообразования несущей системы изменяется сама конструкция узла (набор его элементов), проявляется так называемая генетическая нелинейность, при которой расчетная схема узла сопряжения изменяется не в связи с изменением нагрузки, а целенаправленно при проектировании.

В связи со сложностью работы узлов реальное их поведение под нагрузкой предсказать расчетом, как правило, не представляется возможным и в этом случае проводят специальные экспериментальные исследования опытных образцов. На основе анализа результатов этих исследований разрабатывается расчетная модель узла сопряжения, позволяющая адекватно оценить его несущую способность и деформативность.

Другим путем исследования деформирования узлов сопряжения является использование метода конечных элементов, когда узлы сопряжения моделируются системой объемных и линейных конечных элементов, упругих или неупругих связей и т.п.

Путем многократных расчетов при действии нагрузки определяют диаграмму деформирования узла сопряжения, с использованием которой осуществляют статический расчет несущей системы каркасного здания. При этом в качестве обобщенной характеристики материала следует использовать диаграмму его деформирования при сжатии и растяжении, определенную при средних значениях деформативных и прочностных его характеристик.

Заключение

1. Рассмотрены требования различных нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций, касающиеся проектирования узлов сопряжения сборных железобетонных элементов.

3. Рассмотрена роль узлов сопряжения железобетонных элементов в конструктивной системе каркасного здания, сформулированы цель и задачи проектирования таких узлов сопряжения.

2. Представлены основные принципы проектирования узлов сопряжения, базирующиеся на общих принципах формообразования строительных конструкций и построения расчетных моделей систем.

3. Рассмотрены вопросы классификации узлов сопряжения сборных железобетонных элементов в несущей системе каркасных зданий.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гвоздев, А.А. О нормах проектирования строительных конструкций / А.А. Гвоздев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1975. – № 6. – С. 79.
2. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01-84* / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
3. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Мн.: РУП «Минсктиппроект», 2003. – 140 с.
4. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1: Общие правила проектирования и правила проектирования зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009 // М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Мн.: РУП «Минсктиппроект», 2010. – 191 с.
5. Фридкин, В.М. Формообразование строительных конструкций: монография / В.М. Фридкин. – М.: МГСУ, 2011. – 171 с.
6. Волков, С.Д. Статистическая механика композитных систем / С.Д. Волков, В.П. Ставров. – Мн.: Изд-во БГУ, 1978. – 208 с.
7. Сборные железобетонные конструкции. Справочник проектировщика. – М.: Госстройиздат, 1959. – С. 160.
8. Structural Connections for Precast Concrete Buildings. Guide to good practice / Federation internationale de beton. – Bulletin 43. – Lausanne, 2008. – 370 p.
9. Холмянский, М.М. Закладные детали сборных железобетонных элементов / М.М. Холмянский. – М.: Стройиздат, 1968. – 208 с.
10. Филиппев, А.А. Стыки и детали крупнопанельных зданий с ограждающими конструкциями из ячеистых бетонов / А.А. Филиппев, Г.С. Кобринский. – М.: Стройиздат, 1979. – 144 с.
11. Elliott, K.S. Precast Concrete Structures. / K.S. Elliott – Oxford, 2002. – 380 p.
12. ТКП EN 1993-1-8-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчет соединений. – Минск, Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010. – 118 с.