

На правах рукописи



ЛЕБЕДЕВ Владимир Викторович

**ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ
КОЛОНН И ДИАФРАГМ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ
СОСТОЯНИЕ И НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ МОНОЛИТНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ**

Специальность 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Красноярск 2011

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский Федеральный университет»

Научный руководитель: член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор
Енджиевский Лев Васильевич

Научный консультант: кандидат технических наук, доцент
Игошин Владимир Леонидович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Алмазов Владлен Ованесович
доктор технических наук, профессор,
Митасов Валерий Михайлович

Ведущая организация: ОАО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева

Защита состоится «21» октября 2011г. В 13 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.08 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский Федеральный университет» по адресу: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, аудитория К-120. тел. (8-391) 252-78-68; факс (8-391) 252-78-68; e-mail End-Lev@yandex.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Сибирский Федеральный университет».

Автореферат разослан « » _____ 2011г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Пересыпкин Е.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В настоящее время в Российской Федерации увеличивается объем каркасного монолитного домостроения. Вызвано это рядом причин, основными из которых являются увеличение этажности зданий и повышенные требования к потребительским качествам, таким как неограниченное разнообразие объемно-планировочных решений и возможность изменения планировочных решений при строительстве и эксплуатации зданий. Немаловажным фактором является также устойчивая тенденция роста конкуренции на строительном рынке.

Методики расчета таких зданий интенсивно развиваются. Благодаря возросшим вычислительным мощностям ЭВМ часть современных программных комплексов уже позволяет учесть специфику последовательности возведения здания, физическую и геометрическую нелинейности, включая реологические свойства материалов и грунтов. Прогресс развития нормативной базы также идет в этом направлении. Так, например, возможности СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции» существенно дополнились введением в практику строительного проектирования СНиП 52-01-2003 и СП 52-101-2003.

С 01.07.2010 вступил в силу Федеральный закон №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», содержащий требование об учете в расчетных моделях зданий возможных отклонений геометрических параметров от их номинальных значений. Между тем, ни в нормативных документах, ни в работах исследователей РФ не разработаны методики учета в расчетных моделях железобетонных монолитных зданий возможных геометрических отклонений, а в методиках расчета отдельных элементов влияние геометрических несовершенств учитывается весьма приближенно. В работах как российских, так и зарубежных исследователей, посвященных мониторингу зданий, отмечается существенное влияние отклонений на напряженно – деформированное состояние зданий.

Актуальность исследования определяется теоретической и практической необходимостью развития существующих методик расчета и проектирования каркасных монолитных железобетонных зданий в связи с стремлением принимать оптимальные проектные решения.

Целью диссертационного исследования является разработка метода учета начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов и общего крена здания при расчете и проектировании каркасных монолитных железобетонных зданий.

Для достижения поставленной цели потребовалось сформулировать и решить следующие задачи:

- провести комплексный анализ строительных допусков и способов учета начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов каркаса железобетонных монолитных зданий согласно отечественной и зарубежной нормативных баз;

- сопоставить и дать сравнительную оценку способов измерения горизонтальных отклонений с помощью современного геодезического оборудования с

целью определения достоверности экспериментальных данных. Провести натурные измерения начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов с целью создания экспериментальной базы для теоретических положений;

- разработать общий метод учета начальных допускаемых горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов и допускаемого наклона здания, позволяющий гарантированно зафиксировать наиболее неблагоприятное изменение НДС в несущих элементах каркаса. Выбрать наиболее неблагоприятные формы начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов. Верифицировать теоретические положения, руководствуясь полученными экспериментальными данными;

- разработать программу для ЭВМ, позволяющую автоматизировать видоизменение вертикальных расчетных схем;

- выявить конструктивные и объемно-планировочные факторы, влияющие на изменение НДС несущих элементов вызванное фактом существования начальных горизонтальных отклонений;

- сравнить результаты расчётов, полученные с использованием общего метода, с аналогичными результатами, полученными с использованием существующих предложений учёта рассматриваемого явления, согласно российским нормам и еврокоду 2;

- разработать инженерную методику учета начальных горизонтальных отклонений.

Объектом исследования являются каркасные монолитные железобетонные здания.

Предметом исследования является оценка влияния начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов и общего наклона здания на напряженно-деформированное состояние и армирование несущих конструкций монолитных железобетонных зданий.

Методологической, теоретической и эмпирической базой послужили законодательные и нормативные документы Российской Федерации, стран Евросоюза, США и Китая, труды исследователей, изучавших влияние несовершенств на работу сборных каркасов, панельных зданий, способы мониторинга, а также результаты собственных натурных измерений и исполнительные съемки застройщиков Красноярского края.

Научная новизна диссертационной работы. Разработан общий метод учета влияние начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов или неравномерной осадки фундаментов на напряженно-деформированное состояние несущих элементов железобетонных каркасных зданий. Суть данного метода состоит во включении в анализ n-го количества искривленных по заданным формам расчетных схем, позволяющих гарантированно зафиксировать наиболее неблагоприятное изменение НДС в каждом несущем элементе каркаса при произвольном искривлении здания в допускаемых нормами пределах. Формы задаются ломаными синусоидами с наклонной осью и максимально возможной, с точки зрения строительных допусков, амплитудой

и отличаются друг от друга поэтажным сдвигом начальной фазы. В случае анализа пространственной расчетной схемы модели формы ломаной синусоиды рассматриваются в четырех плоскостях. Данные формы были отобраны по результатам анализа множества допускаемых форм.

На основе теоретических и экспериментальных данных разработана инженерная методика учета допускаемых начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов и общего наклона здания.

Практическая ценность работы. Применение разработанного общего метода расчета позволит повысить достоверность оценки НДС и прочности. Проектировщикам предоставляется выбор способа учёта допускаемых отклонений от вертикали: можно воспользоваться автоматизированным способом по общему методу либо обратиться к инженерной методике.

Достоверность результатов обусловлена:

- использованием фактических, экспериментальных данных как основы для предлагаемых теоретических положений;
- использованием общепринятых гипотез и методик расчета монолитных железобетонных каркасных зданий;
- корректным применением сертифицированных программных продуктов реализующих метод конечных элементов Ansys 11 и Lira 9.4 с условием выборочной дублирующей верификации получаемых результатов;
- сравнением полученных результатов с имеющимися аналогами в российской и мировой нормативных базах.

На защиту выносятся наиболее существенные результаты исследований:

- общий метод оценки влияния допускаемых возможных начальных локальных горизонтальных отклонений и общего крена на напряженно-деформированное состояние и прочность элементов монолитных железобетонных каркасных зданий;
- система из n-го количества форм искривления расчетных моделей, представляющих собой ломаные синусоиды с вертикальной или наклонной осью и максимально возможной, с точки зрения строительных допусков, амплитудой, отличающиеся друг от друга поэтажным сдвигом начальной фазы;
- модель функции автоматизированного изменения геометрических параметров расчетных схем по предлагаемым формам, предназначенная для интеграции в препроцессоры САЕ продуктов;
- программа «KREN v.1.0 beta», позволяющая изменять форму расчетных схем, созданных в ПК Лира 9.4 - 9.6, в соответствии с предложенным методом;
- инженерная методика учета влияния начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов на НДС.

Апробация и внедрение результатов работы. Положения настоящей работы использовались при проектировании объектов жилищного строительства г. Красноярска, среди которых жилые дома №7, 10 в VII м-не, №3, 7 в VI м-не, жилого массива «Покровский» в Центральном районе г. Красноярска. Созданная модель функции, позволяющей автоматизированно модифицировать

идеализированные расчетные схемы по предлагаемым формам, планируется к внедрению в ПК Лира и ПК Stark ES (письма «Intercomlex holding limited» №И/11 от 14.05.2009г. и ООО «Еврософт» №63 от 15.05.2009).

Основные положения диссертационной работы были представлены на XXV научно-технической конференции (г.Красноярск, 2007г.), Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых СФУ (г.Красноярск, 2008г.), Международном симпозиуме «Современные металлические и деревянные конструкции (нормирование, проектирование и строительство)» (г.Брест, 2009г.), III Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 80-летию НГАСУ (г.Новосибирск, 2010г.), XV Академических чтениях РААСН (г.Казань, 2010г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ, 3 из них в журналах, рецензируемых ВАК.

Личный вклад автора. Представленные в диссертации результаты получены лично автором или при его непосредственном участии; в совместных публикациях более 33% результатов исследований принадлежит автору.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и рекомендаций, библиографического списка, включающего 128 наименований, и содержит 188 страниц, в том числе 105 страниц машинописного текста, 90 рисунков, 10 таблиц.

В качестве дополнительных материалов на кафедре «Строительные конструкции и управляемые системы» ФГОАУ ВПО Сибирский федеральный университет хранится том приложений, содержащий дополнительные результаты численных и экспериментальных исследований.

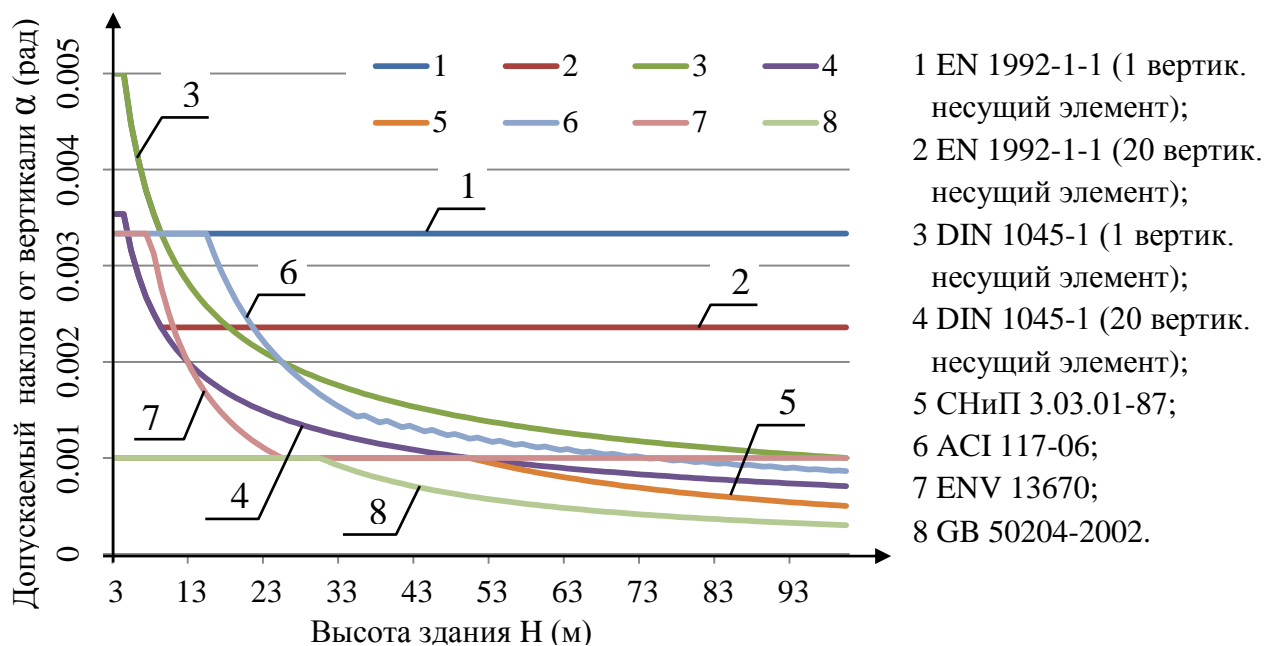
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении описаны объект и предмет исследования, сформулирована цель и поставлены задачи, подчеркнуты актуальность, научная новизна и практическая ценность исследования, приведены основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе представлен краткий обзор и анализ способов учета начальных локальных отклонений (несовершенств) несущих элементов и общего крена здания при расчете, проектировании, строительстве и эксплуатации зданий.

Отклонения несущих конструкций монолитных железобетонных каркасных зданий от их идеализированного проектного положения являются следствием ряда причин, в числе которых погрешности, возникающие при производстве работ по разбивке здания и его отдельных элементов, несовершенства опалубки и неточности в процессе её установки, отклонения возникающие в процессе работ по бетонированию, общий крен фундаментов и др. Согласно требований нормативных документов Российской Федерации, стран Евросоюза, США и Китая (СНиП 3.03.01-87, АСІ 117-06, ENV 13670-1:2000, GB50204-2002) горизонтальные отклонения вертикальных несущих элементов имеют две не связанные друг с другом нормативные границы: первая – предельно допускаемое отклонение на всю высоту здания ($\Delta_{зд.д}$), вторая –

максимально допускаемое отклонение в пределах одного этажа ($\Delta_{эл.д}$). При этом $\Delta_{зд.д}$ и $\Delta_{эл.д}$ зависят от высоты и типа конструктивной системы. В рамках комплексного анализа величин $\Delta_{зд.д}$ и $\Delta_{эл.д}$ были построены сводные графики, иллюстрирующие требования нормативных документов ($\Delta_{зд.д}$ -рис.1, $\Delta_{эл.д}$ -рис.2).



1- 4 - учет несовершенств равномерным наклоном при проектировании
 5- 8 - допуски на максимальное отклонение здания

Рис. 1 Допускаемый равномерный наклон здания $\Delta_{зд.д}$ (отечественные и зарубежные нормы)

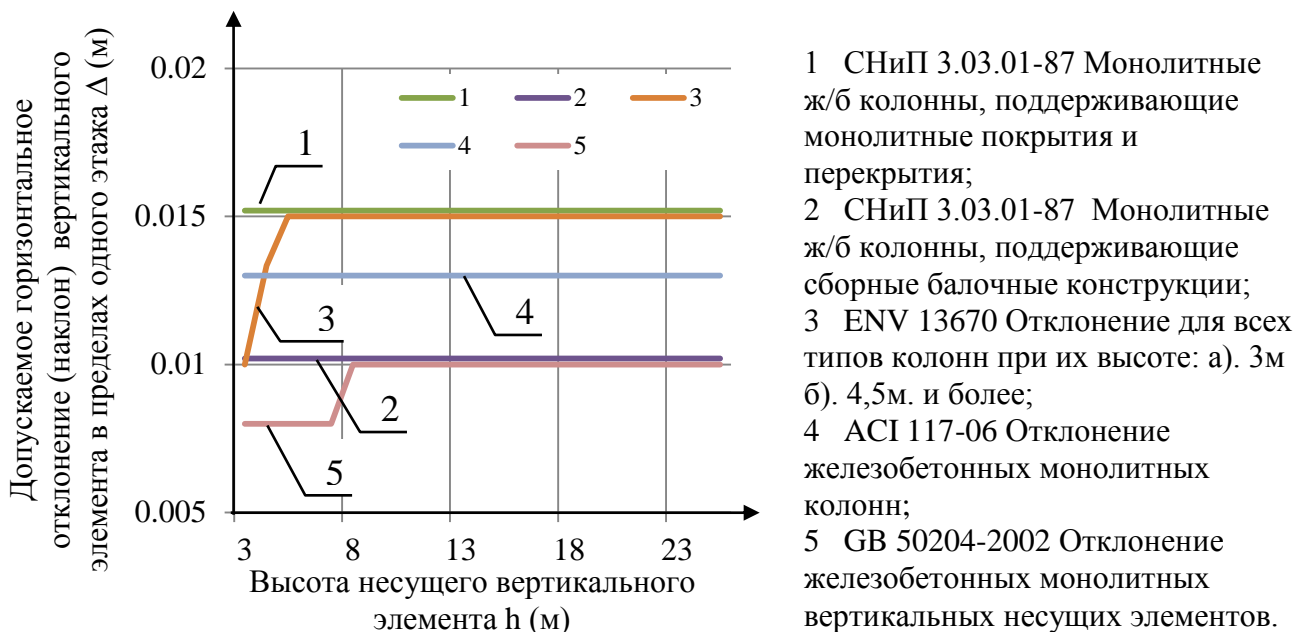
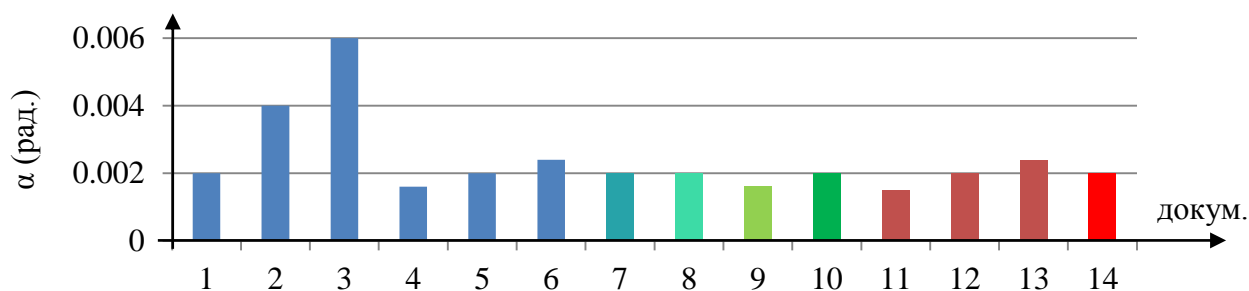


Рис. 2 Допускаемые горизонтальные отклонения отдельных вертикальных несущих элементов $\Delta_{эл.д}$ (отечественные и зарубежные нормы)

Аналогичным образом произведен анализ допускаемого общего крена фундаментов согласно СНиП 2.02.01-83*, СП 50-101-2004, ТСН 50-304-2001, МГСН 4.19-2005, ТСН 31-332-2006, ТСН 50-302-2004, ENV1997-2:2000 (рис.3).



1 - СНиП 2.02.01-83* Железобетонный каркас; 2 - СНиП 2.02.01-83* Стальной каркас; 3 - СНиП 2.02.01-83* Статически определимые каркасы; 4 - СНиП 2.02.01-83* Многоэт. бескаркасные здания из крупных панелей; 5 - СНиП 2.02.01-83* Многоэт. бескаркасные здания из крупных блоков; 6 - СНиП 2.02.01-83* Многоэт. бескарк. здания из кирпичной кладки с армированием и устройством монолитных ж/б поясов; 7 - ТСН 50-304-2001 Многоэт. бескаркасные здания из крупных блоков; 8 - МГСН 4.19-2005 для зданий высотой до 150м; 9 - Пособие к СНиП 2.08.01-85 Вып. 3 Часть 1, для зданий, имеющих стеновую конструктивную систему; 10 - ТСН 31-332-2006 ; 11 - ТСН 50-302-2004 Здания кирпичные и крупнотальные; 12 - ТСН 50-302-2004 Здания башенные монолитные железобетонные; 13 ТСН 50-302-2004 Здания протяженные монолитные железобетонные; 14 - Eurocode 7.

Рис. 3 Допускаемый крен здания

Существенное влияние начальных несовершенств на напряженно-деформированное состояние различных зданий и сооружений, а также несущую способность их элементов отмечено в работах А.С. Авирома, Ю.А. Дыховичного, В.В. Ханджи, Б.А. Косицына, В.Е. Сно, А.В. и М. А. Коргиных, В.И. Травуша, Д.В. Кониная, А.А. Атталманана и др. В общем виде работы предлагают учитывать данный факт на стадии проектирования следующим образом: произвести стандартный расчет идеализированного здания или сооружения, а уже после получения усилий, производить проверку несущей способности элементов каркаса с учетом дополнительных усилий от начальных несовершенств. При этом дополнительные усилия определяются через значения внутренних силовых факторов и расчетные, статистически обоснованные значения отклонений. Например, при анализе несущей способности колонн учет начальных отклонений от вертикали и смещение соосности колонн предлагается учитывать при помощи добавочного эксцентриситета продольной силы рис.4 “а,б”, а в анализ горизонтальных элементов включать дополнительные продольные силы стабилизации H_i , возникающие в месте слома колонн (рис.4 “в”).

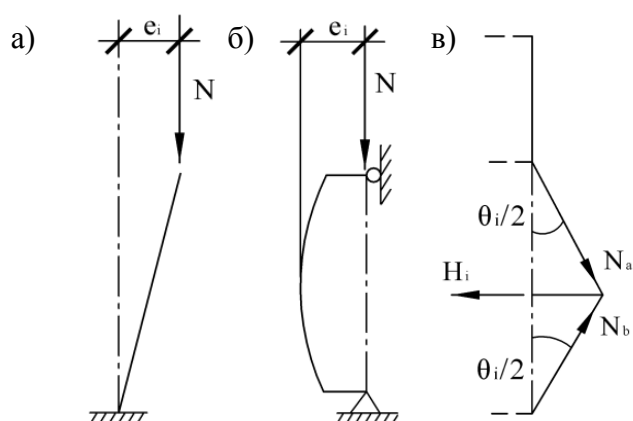


Рис. 4 К определению добавочных усилий от начальных несовершенств

В отечественной нормативной базе, регламентирующей правила проектирования железобетонных конструкций на протяжении последних 35 лет, остается неизменным требование по учету начальных горизонтальных отклонений - случайным эксцентриситетом затрагивающее только вертикальные несущие элементы. История появления значений случайного эксцентриситета и перечень учитываемых факторов были описаны

А.А. Гвоздевым в труде «Новое в проектирование бетонных и железобетонных конструкций»: «Для сжатых элементов конструкции в нормы введено новое требование: учитывать не оцениваемый статическим расчетом случайный эксцентриситет приложения сжимающего усилия (п. 1.22). Центральное приложение усилия, вызывающее равномерное по сечению укорочение сжимаемого элемента, трудно осуществить даже в лабораторных условиях... Тем более нельзя рассчитывать, что какой-либо элемент в реальной конструкции будет сжат центрально. Между тем даже небольшой эксцентриситет ощутимо снижает несущую способность сжатого элемента. Причиной возникновения случайного эксцентриситета могут быть: неоднородность свойств бетона по сечению, особенно в случае бетонирования элементов в горизонтальном положении, при значительной высоте сечения и подвижной консистенции бетона; начальная кривизна оси сжатого элемента или ее отклонение от вертикали; неучтенные горизонтальные силы и другие причины < ... > величины эксцентриситета заимствованы из рекомендаций Европейского комитета по бетону (ЕКБ) и Международной федерации преднапряженного железобетона (ФИП) и приняты также в нормах ряда стран < ... > В нормах зарубежных стран, учитывающих случайный эксцентриситет, он во всех случаях суммируется с эксцентриситетом, определенным расчетом. В наших новых нормах это правило сохранено для статически определимых конструкций. Для статически неопределимых конструкций сделано послабление: если эксцентриситет, определенный из расчета, меньше случайного, то принимается случайный эксцентриситет; если же из расчета определен эксцентриситет, превышающий случайный, то последний не учитывается. Это обосновывается следующими соображениями - наличие случайного эксцентриситета должно приводить к взаимному смещению концов сжатого стержня. Но в статически неопределимой конструкции такому смещению в той или иной мере препятствует связь этого стержня с другими элементами конструкции, что несколько смягчает влияние случайного эксцентриситета....».

Российские исследователи В.М. Бондаренко, А.В. Боровских считают, что понятие «случайный эксцентриситет» дополнительно включает в себя следующие факторы: неточность расположения арматурных стержней и допуски размеров поперечного сечения.

Основываясь на вышеприведенной информации, крайне затруднительно считать случайный эксцентриситет полноценным параметром учета начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов. Доводы для обоснования данного мнения:

- случайный эксцентриситет, с официальной точки зрения, имеет одно содержательное наполнение, а с учетом обобщённого мнения Российских исследователей несколько иное, включающее в себя большее количество параметров: отклонения от вертикали (наклон), отклонения от соосности, неоднородность свойств бетона по сечению элемента, неточность расположения арматурных стержней, начальную кривизну, допуски размеров поперечного сечения, неучтенные горизонтальные силы и другие причины. Таким образом, случай-

ный эксцентриситет, по сути, определяется как интегральный коэффициент, в котором конкретный «вклад» каждого параметра, а также возможность их совместного проявления не имеют соответствующего доказательного обоснования;

- официальные правила применения и расчетные значения данного параметра ограничены рядом факторов (например для колонны, находящейся в статически неопределимой системе, при условно стандартном наборе и соответствующих значениях нагрузок случайный эксцентриситет учтен не будет);

- исходя из принятой в Российских нормах методологии учета случайного эксцентриситета, все факторы, которыми принято наполнять содержательную часть данного параметра, не предполагается учитывать для вертикальных несущих конструкций подавляющего большинства монолитных каркасных железобетонных зданий (статически неопределимые системы, имеющие значения моментов от действующих нагрузок больше значения момента вследствие учета случайного эксцентриситета);

- значение случайного эксцентриситета в ряде случаев существенно меньше, чем возможные допускаемые отклонения, в то время как принцип построения европейских норм имеет противоположную направленность.

Европейские нормы за прошедший период времени претерпели существенную модернизацию. Произошедшие изменения в европейских нормах состоят в следующем: учет начальных отклонений от вертикали несущих элементов выделен в самостоятельную область и является обязательным требованием во всех случаях. В упрощенном варианте это требование является функцией от расчетной длины элемента. Одновременно эта функция была исключена из состава «случайного эксцентриситета». Случайный эксцентриситет стал определяться как функция от высоты сечения, имеющая минимальное граничное значение, которое увеличено в два раза по отношению к используемой в России с 70-х годов аналогичной величине. При практических расчетах применяется наибольшая величина в соответствии с табл.1.

Таблица 1

Учет несовершенств по EN 1992-1-1

Нормативный документ	Случайный эксцентриситет e_0	Учет начальных несовершенств	Расчетный момент в колонне
EN 1992-1-1 [69] Англия	Максимальное из: $h/20$; 20мм. (п.6.1 (4))	Вариант №1. Равномерный наклон здания на угол Θ (п.5.2(4))	Согл. вар. №1. - максимальное из: $M_{\text{накл.}}$; $N_p e_0$
EN 1992-1-1[69] Остальные страны ЕС	Максимальное из: $h/30$; 20мм. (п.6.1 (4))	Вариант №2. Упрощенный учет по средствам добавочного эксцентр. $e_i = l_0/400$	Согл. вар. №2 - максимальное из: $M_p + N_p e_i$; $N_p e_0$

Где: l – геометрическая длина колонны; h – высота сечения в направлении изгиба; M_p – момент в колонне, полученный при расчете вертикальной схемы; $M_{\text{накл}}$ – момент в колонне, полученный при расчете наклонной схемы; l_0 – расчетная длина колонны.

Учёт влияния возможных начальных геометрических несовершенств, согласно EN 1992-1-1, возможен одним из двух вариантов: 1 – учет допускаемого нормами прямолинейного наклона здания (рис.5); 2 – упрощенный учет начальных несовершенств в виде дополнительного эксцентриситета продольной силы

$e_i = l_0/400$ ($\Delta M = N \cdot e_i$). Полученное одним из этих двух способов расчетное значение изгибающего момента, с учетом дополнительной составляющей, сравнивается со стандартным требованием $N \cdot e_0$, где e_0 – случайный эксцентриситет. Из двух значений выбирается наибольшее, и на этом модификация завершается (табл.1).

Также отметим, что понятие «случайный эксцентриситет», согласно EN 1992-1-1, включает в себя лишь возможные геометрические отклонения конструкции. Представленная выше информация позволяет сделать вывод, что содержательное наполнение случайного эксцентриситета – совокупность учитываемых факторов, согласно EN 1992-1-1 и СП52-101-2003 существенно

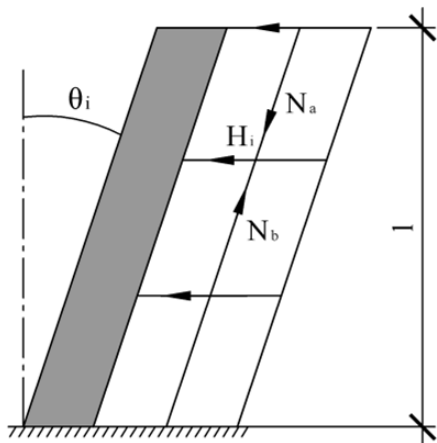


Рис. 5 Учет горизонтальных отклонений равномерным наклоном по EN 1992-1-1

отличаются. EN 1992-1-1 включает в себя значительно меньшее число учитываемых факторов. При этом, случайный эксцентриситет, регламентируемый EN 1992-1-1, для наиболее часто встречающихся в практике колонн (сечением до 600x600мм) численно превосходит соответствующий случайный эксцентриситет, установленный СП 52-101-2003.

EN1992-1-1 регламентирует обязательный учет влияния отклонений вертикальных несущих элементов на горизонтальные элементы.

Несмотря на все это, методика EN 1992-1-1 не лишена недочетов. Так, моделирование несовершенств равномерным отклонением является, по мнению автора, подменой одной идеализации другой: в стандартном расчете здание идеально ровно стоит, в предлагаемом - идеально ровно наклонено, к тому же нет указаний, каким образом производить корректировку пространственной схемы.

В главе также рассмотрен учет несовершенств в соответствии с требованиями нормативных документов США, Китая и Индии (ACI 318-08, GB50010-2002, GB50010-2010, IS 456:2000). Данные методики дублируют разобранные выше и отличаются значениями минимальных эксцентриситетов.

Методика, позволяющая на стадии проектирования в полной мере достоверно учесть влияние данного вида несовершенств, пока не предложена. Требования нормативных документов Российской Федерации, стран Евросоюза и США предлагают упрощенные методики учета начальных геометрических несовершенств, но ключевые значения, определяющие корректировку НДС элементов, не коррелируются между собой (разброс в значениях составляет до 200%). Отсутствуют рекомендации по учету начальных геометрических несовершенств в рамках анализа пространственной схемы здания.

В настоящее время вступил в силу Федеральный закон №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», содержащий в гл.3 ст.16 п.4 следующее требование: «расчетные модели сооружений должны учитывать особенности взаимодействия элементов конструкций между собой и

основанием, пространственной работы конструкций, геометрической и физической нелинейностей, пластических и реологических свойств материалов и грунтов, возможности образования трещин, а также возможных отклонений геометрических параметров от их номинальных значений».

На основании представленной информации была сформулирована задача разработки метода учета начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов и общего крена здания на стадии проектирования монолитных железобетонных каркасных зданий, с учетом имеющегося мирового опыта.

Во второй главе предложен и обоснован общий метод оценки влияния начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов здания, способный оценивать ситуацию при любых конкретных граничных условиях: предельное значение общего наклона здания ($\Delta_{зд.д}$) и предельно допускаемые поэтажные горизонтальные отклонения вертикальных несущих элементов ($\Delta_{эл.д}$). В качестве общего метода предлагается, наряду с расчетом идеализированной вертикальной схемы, производить расчеты схем, изначально геометрически неидеальных. Формы изменения геометрии расчетной схемы (формы начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов) предлагаются в виде ломаных синусоид (рис.6), имеющих ограничения поэтажных отклонений и общей амплитуды, соответствующие предельным допускаемым нормативным требованиям на производство работ. Например, для любой плоской расчетной схемы, исходя из предельных допусков на производство работ СНиП 3.03.01-87, метод предусматривает включение в анализ дополнительных 12 схем с измененной геометрией в виде форм ломаных синусоид, имеющих максимально допустимую амплитуду ($2\Delta_{зд.д} = 6\Delta_{эл.д} = 9\text{см.}$) и отличающихся друг от друга поэтажным сдвигом начальной фазы (рис.6). Для анализа произвольной пространственной схемы метод предусматривает 4 направления плоских форм отклонений, каждое из которых аналогично случаю плоской схемы. Ориентировать направления предлагается вдоль главных осей инерции здания и под углом 45° к ним (рис.6).

План проведения серий численных исследований основывался на фактических экспериментальных данных. Они использовались для построения принципов решения поставленной задачи. При этом учитывалась реальность проектной практики, в которой могут анализироваться различные варианты объемно-планировочных решений и использоваться различные методы расчета (по упругой схеме и с учетом физически нелинейного деформирования). Первоначально был выполнен анализ стержня, идеализированно имитирующего вертикальный ряд колонн здания. Затем был выполнен анализ плоских рам различной высоты, ширины, сочетаний жесткостей вертикальных элементов (колонн и диафрагм) с учетом и без учета физической нелинейности и последовательности возведения здания. Затем был выполнен анализ аналогичных пространственных схем зданий. При этом анализировались и сравнивались наиболее важные для практического использования факторы: напряженно-деформи-

рованное состояние и уровень требуемого армирования как по предлагаемому методу, так и в соответствии с требованиями EN 1992-1-1 и СП 52-101-2003.

В проведенных расчетах учитывались требования и конструктивные ограничения в соответствии с нормативной базой РФ: СНиП 2.01.07-85* – назначение нагрузок и их сочетаний, максимальные деформации схемы и отдельных элементов; СП 52-101-2003 – подбор армирования, минимальный и максимальный процент армирования, минимальный диаметр арматуры, ограничения по количеству стержней и расстоянию между ними; СП 52-103-2007 – снижение модулей упругости в линейных расчетах и т.д.

Направления изменения геометрии, моделирующей начальные несовершенства для пространственной схемы здания в общем случае

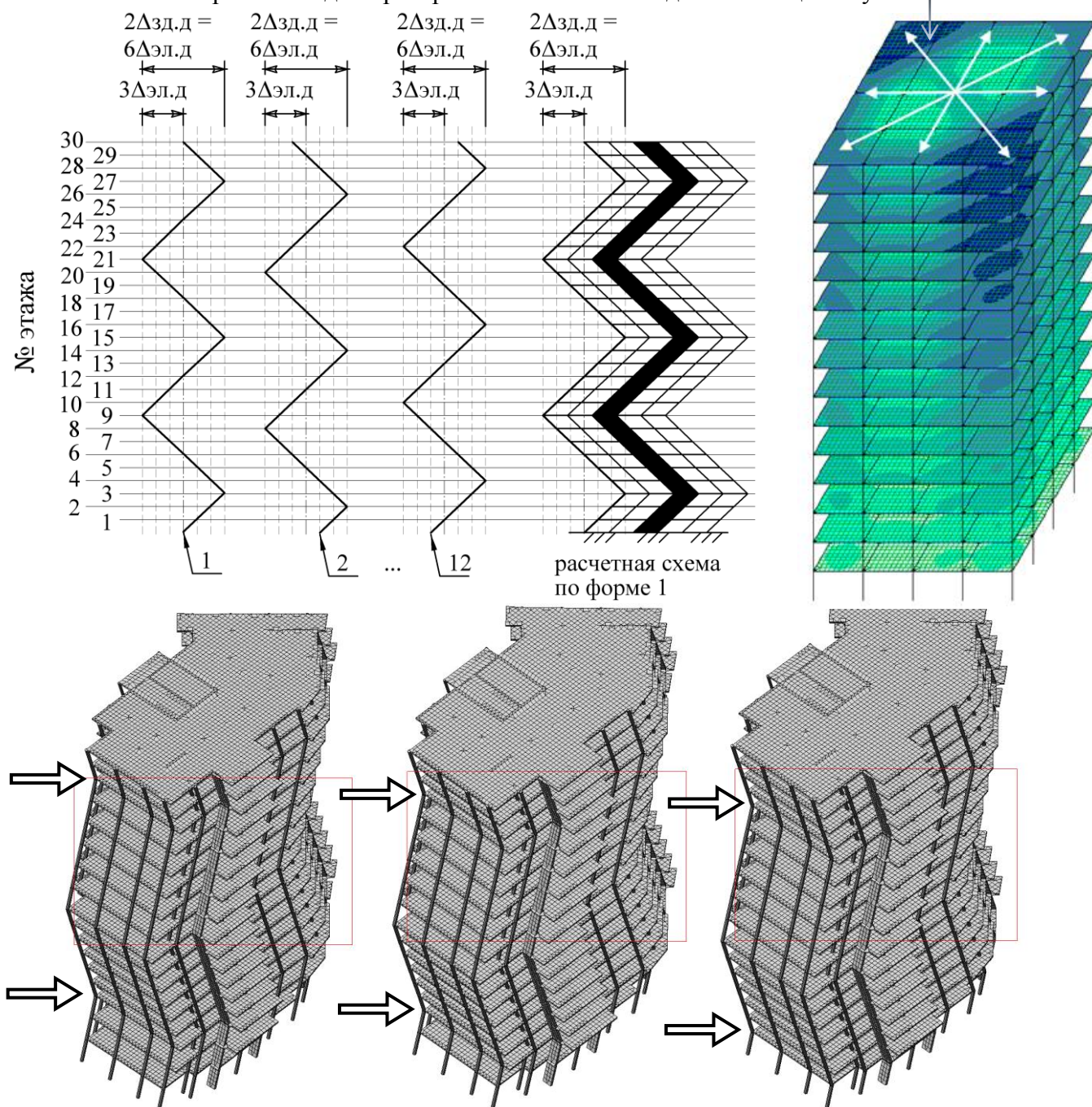


Рис.6 К методу оценки влияния начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов здания

Формы «ломаных» синусоид, имеющих максимально допустимую амплитуду, были выбраны из широкой совокупности форм, рассмотренных в главе. Они, во-первых, являются наиболее неблагоприятными с точки зрения влияния начальных отклонений, и, во-вторых, соответствуют обобщенным экспериментальным данным.

В численных экспериментах рам и пространственных схем (рис.7) выявлено, что в случае изменения в расчетной схеме жесткости одного из вертикальных элементов происходит изменение влияния несовершенств на другие элементы. На дополнительные усилия в колоннах существенно влияют элементы, имеющие большую жесткость (стены-диафрагмы, ядра жесткости, оболочки). В случае их присутствия дополнительные усилия от начальных несовершенств снижаются. Так же влияет количество и регулярность вертикальных несущих элементов. То есть, наравне с внутренними силовыми факторами и величинами отклонений, значение дополнительных усилий определяет сама система элементов, в которой находится колонна. Подобная ситуация наблюдается и с горизонтальными элементами. Данный факт возможно учесть, лишь используя предлагаемых метод. Получены следующие результаты:

- выявлено существенное влияние отклонений от вертикали в пределах строительных допусков РФ на величины изгибающих моментов и значения требуемого армирования в колоннах (для более 5-10% колонн в зданиях как с ядрами или диафрагмами жесткости, так и без них требуется увеличение армирования более чем на 5-10%). Типовая эпюра дополнительных моментов и схема дополнительных деформаций, возникших по причине влияния несовершенств, представлены на рис.8“а”;

- выявлено, что отклонения от вертикали в пределах строительных допусков РФ порождают существенные растягивающие продольные силы в горизонтальных несущих элементах, что ведет к увеличению их требуемого продольного армирования. В рассмотренных примерах представлены случаи, в которых увеличение требуемого армирования для плиты перекрытия составило до 10% как в приопорных зонах, так и в пролетной части (рис.8 “б”).

- расчет с учетом начальных отклонений от вертикали по общей методике с учетом физической нелинейности позволяет выявить несколько большее количество элементов, требующих дополнительного армирования, чем аналогичный расчет по упругой схеме.

Отрицательной стороной предлагаемого общего метода, несомненно затрудняющего его использование в практике проектирования, является необходимость создания большого количества дополнительных расчетных схем. Данное действие в большинстве случаев - процесс трудоемкий. В главе предложено и обосновано два способа, которые позволяют преодолеть данную трудность:

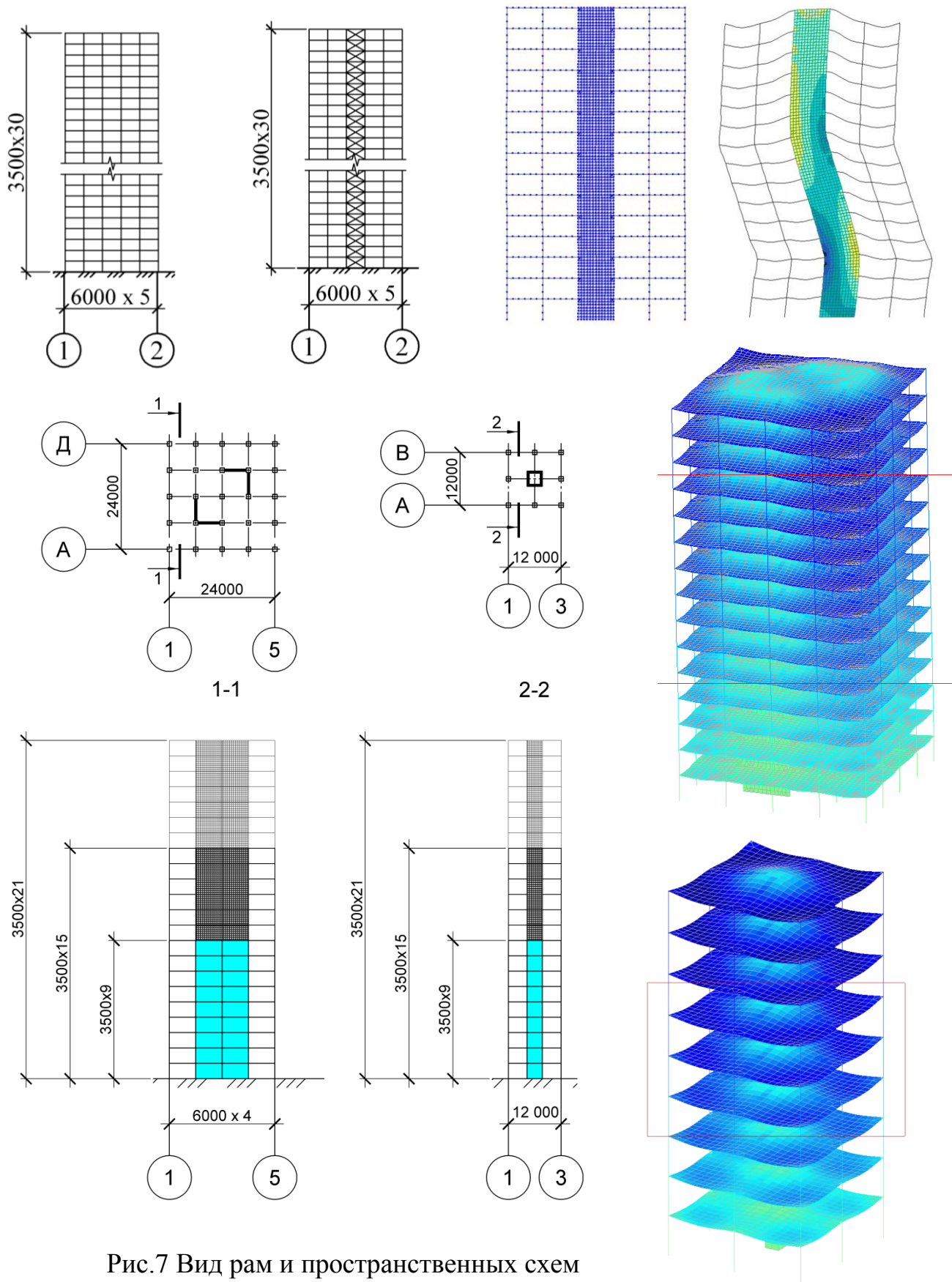


Рис.7 Вид рам и пространственных схем участвовавших в численных экспериментах

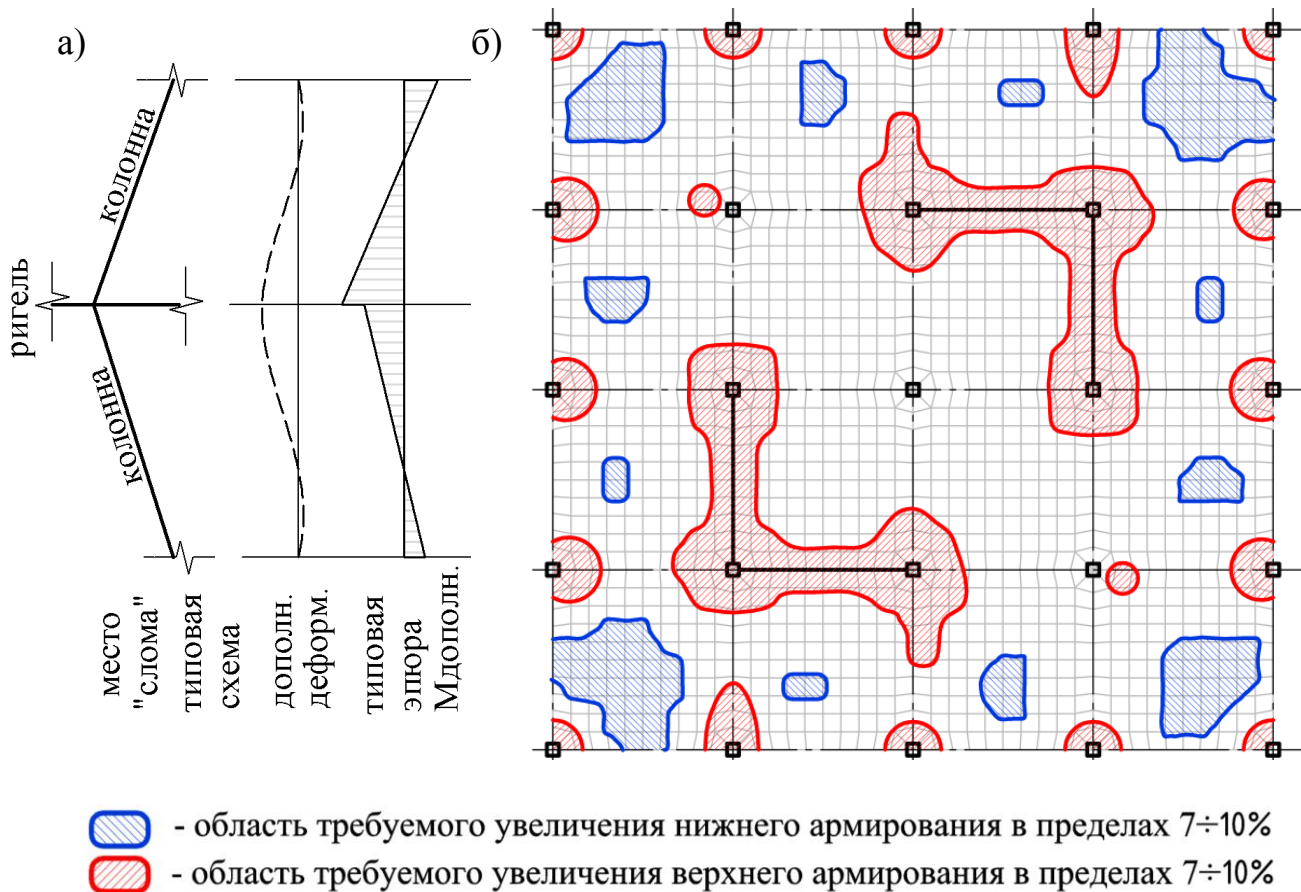


Рис. 8 Изменение требуемого армирования плиты перекрытия

Первый - предложена модель функции, интегрируемой в расчетные программные продукты и позволяющая автоматизированно формировать расчетные схемы, имеющие начальные геометрические несовершенства и допуская крен. Современные программные комплексы имеют препроцессоры нового уровня, которые, в отличие от создающих конечноэлементные модели (где в качестве «кирпичиков», из которых складывается расчетная схема, выступают конечные элементы), создают схему из укрупненных элементов (объектов), максимально приближенных по своему назначению и наименованию к функциональным составным частям реального сооружения. В их число входят колонны, балки, стены, перекрытия и т.д. В дальнейшем происходит автоматизированная разбивка данных объектов на конечные элементы. Такой подход хорошо коррелируется с развивающейся концепцией BIM (Building Information Modeling), основу которой составляет параметрическое моделирование зданий. Был разработан алгоритм, соответствующий автоматизации изменения расчетной схемы с учетом заданных границ в рамках заданных законов изменения геометрии здания. Например, для рассмотренной ломаной синусоиды алгоритм предлагаемой автоматизации состоит в модификации координат узлов по осям абсцисс и ординат, в зависимости от координаты по оси аппликат, и аналитически для каждого узла конечноэлементной модели имеет вид:

$$X_{i_kren}(z_i) = X_{i_ideal} + \Delta_{x1} \frac{8}{\pi^2} \left[\sum_{n=1,3,5,7,9...}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{(n-1)}{2}}}{n^2} \sin\left(\frac{\pi \cdot n \cdot z}{T}\right) \right] + \Delta_{x2} \frac{z}{h}; \quad (1)$$

$$Y_{i_kren}(z_i) = Y_{i_ideal} + \Delta_{y1} \frac{8}{\pi^2} \left[\sum_{n=1,3,5,7,9...}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{(n-1)}{2}}}{n^2} \sin\left(\frac{\pi \cdot n \cdot z}{T}\right) \right] + \Delta_{y2} \frac{z}{h}; \quad (2)$$

где X_{i_kren} , Y_{i_kren} координаты i -го узла исходной вертикальной расчетной схемы; X_{i_ideal} , Y_{i_ideal} - координаты i -го узла с учетом несовершенств; Δ_{x1} , Δ_{y1} - амплитуды отклонений в плоскостях zOx , zOy ; Δ_{x2} , Δ_{y2} - отклонение оси синусоиды в уровне верха здания; h - высота сооружения; z - аппликата узла; T - период колебаний;

В соответствии с данными принципами, была разработана программа для ЭВМ «KREN v 1.0 beta» (свидетельство РФ о государственной регистрации программ для ЭВМ N2009611510), позволяющая автоматизированно модифицировать конечноэлементные модели, созданные в ПК Лира 9.4-9.6. Интерфейс программы (рис.9) позволяет задавать по выбору пользователя шесть различных форм горизонтальных отклонений здания и изменять при этом расчетную схему здания или по восьми направлениям, или по четырём сторонам, или по четырём углам, а также задавать несовершенства и общий наклон (крен) в одном произвольно выбранном направлении. Программа позволяет задавать крен как при помощи заданного угла, так и при помощи заданного отклонения и выбирать любую из форм несовершенств здания от крена, в зависимости от требований норм, согласно которым производится данный расчёт.

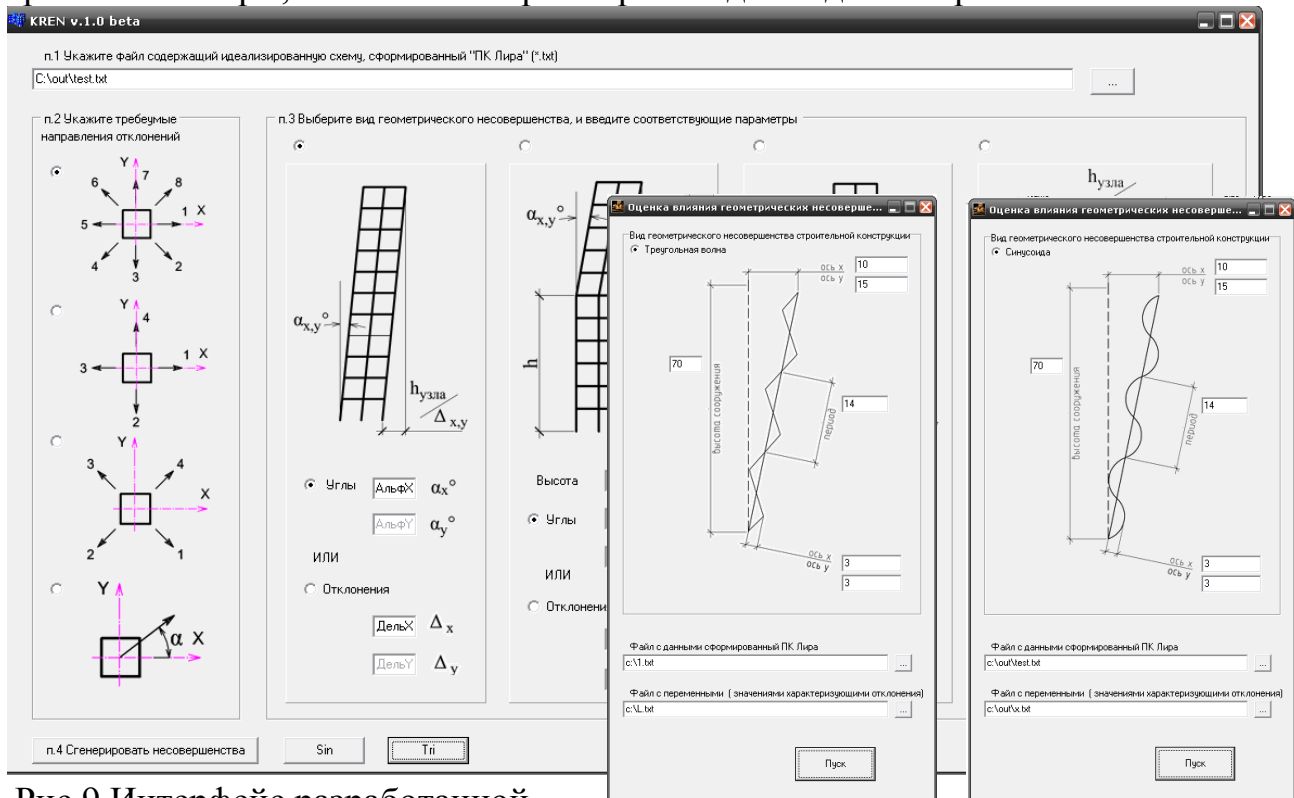


Рис.9 Интерфейс разработанной программы «KREN v 1.0 beta»

Второй – предложена инженерная методика учета начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов. Ее основой являются факты, полученные при анализе результатов расчетов:

- выявлено, что значения «добавочных» изгибающих моментов в колоннах для каждого вертикального ряда колонн изменяются практически линейно, имея незначительные искажения в зонах смены сечений колонн (рис. 10 “а”);
- выявлено, что значения «добавочных» продольных растягивающих сил для каждого вертикального ряда ригелей изменяются аналогично (рис.10 “б”).

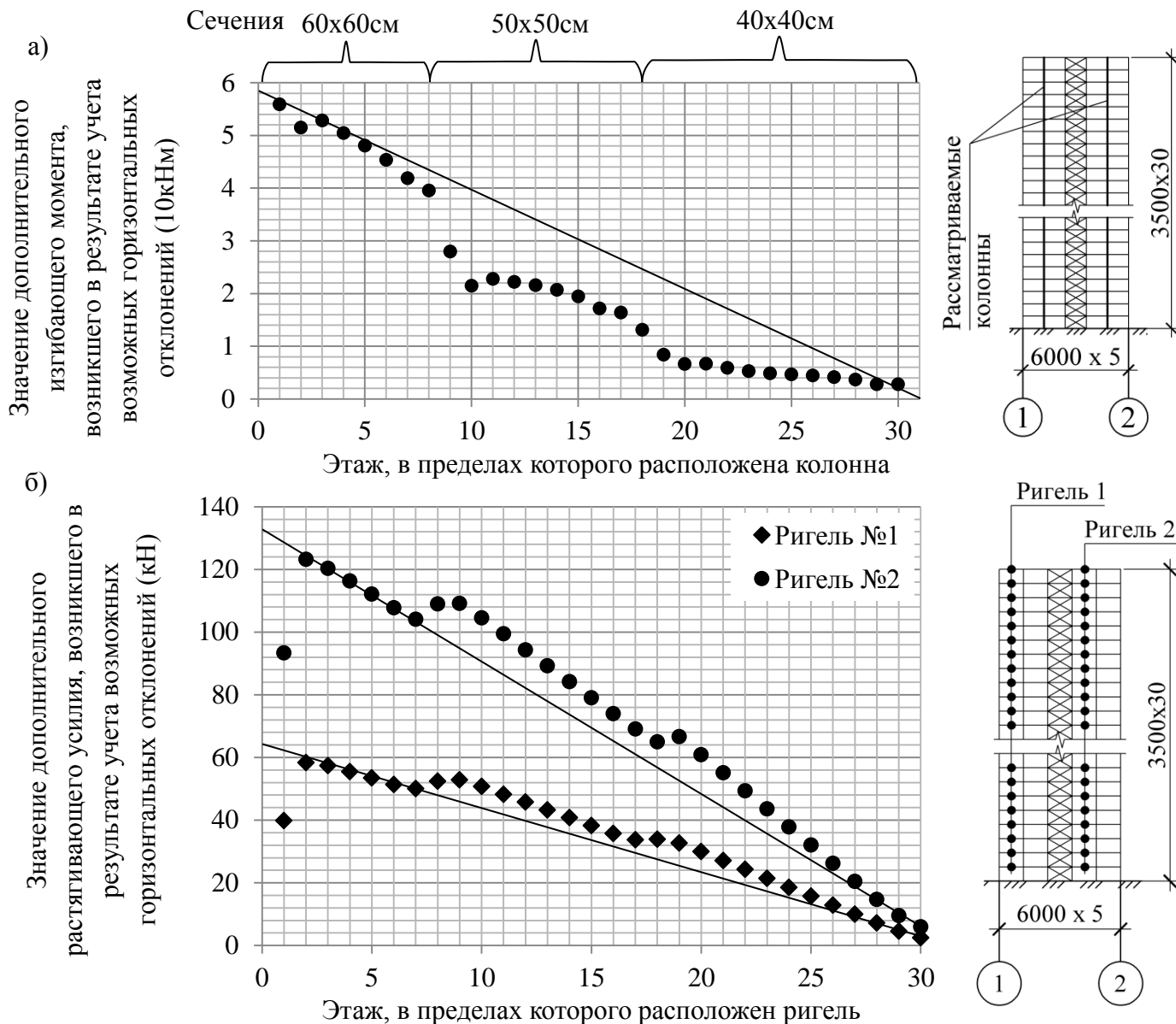


Рис. 10 Значения добавочных усилий. Результат расчета по общему методу – точки. Результат расчета по инженерной методике – прямые

При расчете плоских расчетных схем (как при упругом варианте, так и с учетом физической нелинейности деформировании материалов) методика предполагает следующую последовательность действий:

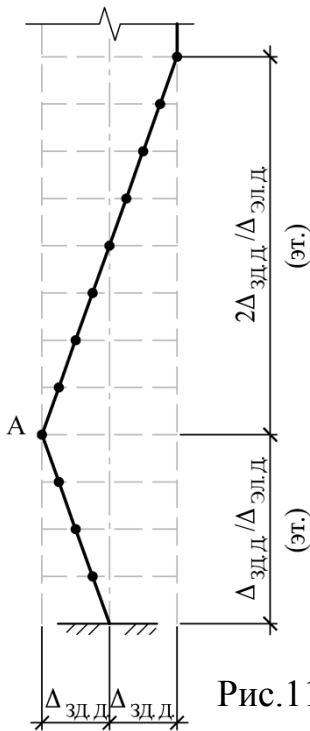


Рис.11

- 1) Стандартный расчет идеализированной схемы;
- 2) Корректировка плоской расчетной схемы в пределах строительных допусков по форме, получаемой следующим образом: начиная с 1-го этажа- посредством максимально допустимого поэтажного отклонения от вертикали (строительный допуск на отклонение в пределах этажа), производится наклон здания до тех пор, пока не будет достигнута граница строительного допуска на отклонение здания в целом (рис.11); далее элементам последующих этажей назначается алогичный наклон в другую сторону до тех пор, пока не будет достигнута граница допуска на отклонение здания в целом с другой стороны; далее здание формируется вертикально (рис.11);
- 3) В случае, если рассматривается несимметричная рама, п.2 выполняется повторно в противоположную сторону (зеркально, то есть формируется вторая геометрически несовершенная расчетная схема в соответствии с рис.11);

4) Проведение всех стандартных расчетов, соответствующих I-му предельному состоянию для всех анализируемых расчетных схем;

№	Изменение НДС колонн	Изменение НДС ригелей
5)	Сравнение величин изгибающих моментов, полученных в расчетах анализируемых схем применительно к каждой колонне в рамках соответствующего точке "А" этажа. Каждой колонне данного этажа присваивается максимальное значение, полученное в проведенных расчетах (M_{max}). Отметим, что каждая из рассматриваемых колонн в рамках данного этажа соответствует определенному вертикальному ряду колонн, применительно к которому будут далее использоваться полученные результаты;	Сравнение величин продольных растягивающих сил, полученных в расчетах анализируемых схем применительно к каждому ригелю в рамках соответствующего точке "А" этажа. Каждому ригелю данного этажа присваивается максимальное растягивающее* усилие, полученное в проведенных расчетах ($N_{p max}$). Отметим, что каждый из рассматриваемых ригелей в рамках данного этажа соответствует определенному вертикальному ряду, применительно к которому будут далее использоваться полученные результаты;
6)	Анализ изменения максимальных изгибающих моментов во всех вертикальных несущих элементах в пределах этажа, соответствующего месту первого перелома (точка "А" на рис.11). В месте перелома обязательно рассматри-	В качестве базового значения на уровне слома (точка "А" на рис.11) принимается максимальное изменение продольного растягивающего усилия $\Delta N_{p max}$. При симметричной расчетной схеме значения, полученные для данного

	ваются оба этажа, прилегающие к данной точке (соответственно, выше и ниже расположенные). В качестве базового этажа принимается тот этаж, в котором изменение абсолютного изгибающего момента максимальное ΔM_{\max} ;	ригеля, будут присваиваться симметрично расположенному ригелю;
7)	Для каждого вертикального ряда колонн определяется линейная функция изменения ΔM по высоте здания. Для этого используются две характерные точки: первая – ΔM_{\max} , полученная из п.6; 2-ая $\Delta M=0$, соответствующая последнему этажу	Для каждого вертикального ряда ригелей определяется линейная функция изменения ΔN по высоте здания. Для этого используются две характерные точки: первая – ΔN_{pmax} , полученная из п.6; 2-ая $\Delta N=0$, соответствующая последнему этажу
8)	По полученной линейной функции определяется $\Delta M_{\text{соотв.}}$ для каждой из колонн каждого вертикального ряда	По полученной линейной функции определяется $\Delta N_{\text{соотв.}}$ для каждого из ригелей каждого вертикального ряда;
9)	Уточняется значение изгибающего момента в каждой колонне каждого этажа по формуле: $M_{\text{расч}} = M_{\text{верт}} + \Delta M_{\text{соотв.}} \times 0,9^{**}$	Уточняется значение продольной растягивающей силы в каждом ригеле каждого этажа по формуле: $N_{\text{расч}} = N_{\text{верт}} + \Delta N_{\text{соотв.}} \times 0,9^{**}$
10)	Проверяется условие $M_{\text{расч}} \geq N \cdot e_0$, и в дальнейшем расчете учитывается наибольшее из этих значений	В последующих расчетах учитывается соответствующая продольная растягивающая сила $N_{\text{расч}}$
<p>* - увеличение продольных сжимающих сил не рассматривается, так как оно не оказывает отрицательного влияния;</p> <p>** - назначение коэффициента 0,9 включает в себя учёт возможного различия величин наклона вертикальных несущих элементов в рамках одного этажа и влияние “скачков” жесткости в случае изменения сечения колонн.</p>		

Для учета начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов в пространственной расчетной схеме предлагается выполнить 8 расчетов по 8-ми направлениям в соответствии с рис.6. Форма каждой схемы строится аналогично плоской схеме п.2,3 методики. По всем остальным аспектам предлагаемой методики действия выполняются аналогично.

Применение данной методики позволяет решить проблему учета бесконечного разнообразия конструктивных и объёмно-планировочных решений железобетонных монолитных каркасных зданий при оценке влияния начальных горизонтальных отклонений вертикали несущих элементов на их НДС.

В главе представлены примеры, иллюстрирующие “работу” предлагаемой инженерной методики в сопоставлении с результатами по общему методу и упрощенным методикам, предлагаемым СП52-101-2003 и EN 1992-1-1:

- при расчете плоской расчетной схемы при упругом деформировании материалов применительно к вертикальным несущим элементам для 30-ти и 15-этажных рам;

- при расчете плоской расчетной схемы с учетом физической нелинейности деформирования материалов применительно к вертикальным несущим элементам для 15-этажной рамы;

- при расчете пространственной расчетной схемы при упругом деформировании материалов применительно к вертикальным несущим элементам.

В третьей главе предложена методика измерения горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов с использованием «безотражательных» режимов тахеометра и выборочной верификации полученных результатов более точным геодезическим оборудованием – проекциометром. Выявлено, что для измерений горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов в безотражательном режиме в большей степени подходят тахеометры, имеющие фазовые дальномеры. Однако в случае, если необходимо измерять отклонения объектов, удаленных от станции тахеометра более чем на 50-60м, следует использовать тахеометры с менее точными импульсными дальномерами.

Выявлено, что для измерения горизонтальных отклонений можно рекомендовать устанавливать тахеометр на расстоянии $a=h/\text{tg } 60^\circ$ от измеряемого объекта (где h – высота измеряемого объекта).

Выявлена необходимость учета кривизны земной поверхности для измерения зданий, имеющих высоту более 200м.

Были произведены измерения горизонтальных отклонений 278 колонн (около 900 измерений). Дополнительно были отобраны исполнительные съемки трех монолитных каркасных зданий общим объемом 2878 колонн. Выявлено, что отклонения от вертикали по высоте колонн чаще всего представляют собой ломаные кривые (рис.12).

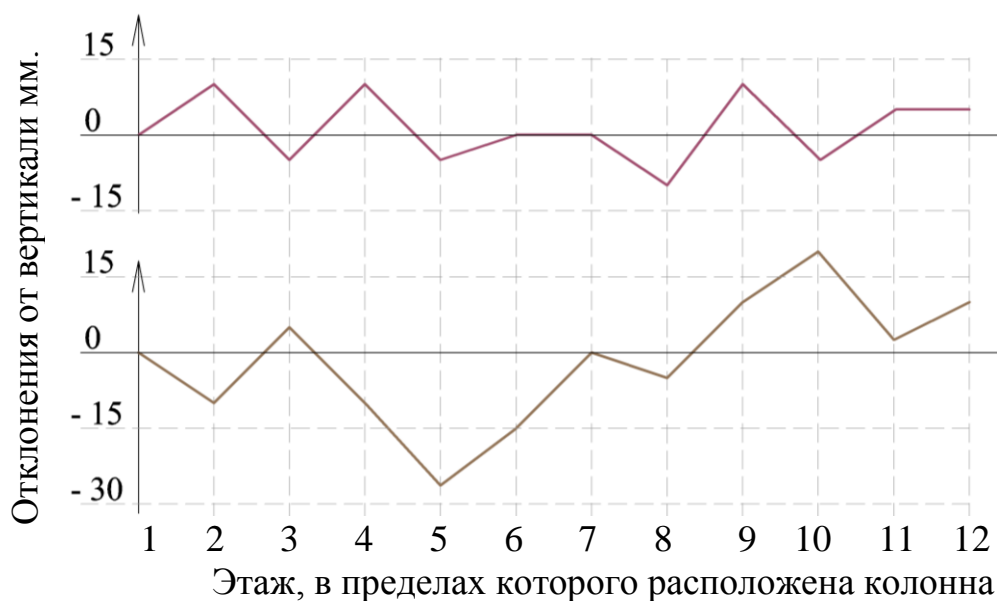


Рис.12 Характерные горизонтальные отклонения по высоте вертикального ряда колонн

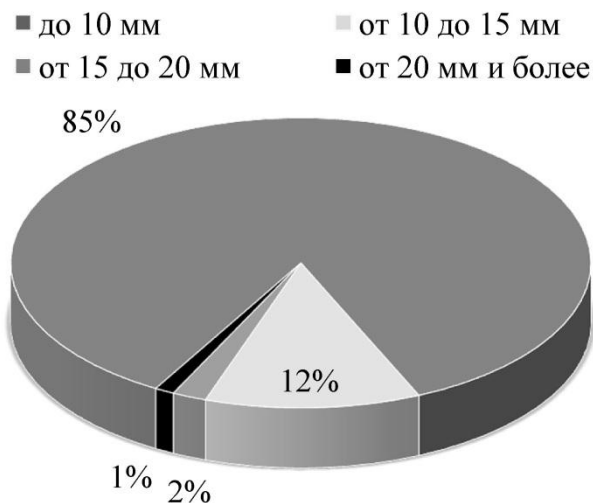


Рис.13 Результаты отклонений всей рассмотренной совокупности колонн и диафрагм

На сводной диаграмме выполненных натурных измерений (рис.13) представлены итоговые результаты всех накопленных отклонений колонн и диафрагм железобетонных монолитных каркасных зданий. Однако при проведении исследования было выявлено следующее обстоятельство: на различных площадках фиксировались различные диапазоны значений отклонений. На одной площадке около 90% отклонений были в диапазоне от 0-15мм, на другой 70% в диапазоне 10-20мм, а по результатам собственных натурных измерений - в диапазоне от 0-30мм. Таким образом, для численных исследований можно рекомендовать максимальные значения допустимых отклонений.

В четвертой главе рассмотрен пример учета начальных горизонтальных отклонений при проектировании 17-этажного монолитного железобетонного здания, расположенного в г. Красноярске (рис.14). Проиллюстрировано влияние начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов на уровень требуемого армирования несущих элементов здания, а также подтверждена работоспособность общего метода учета данного явления.



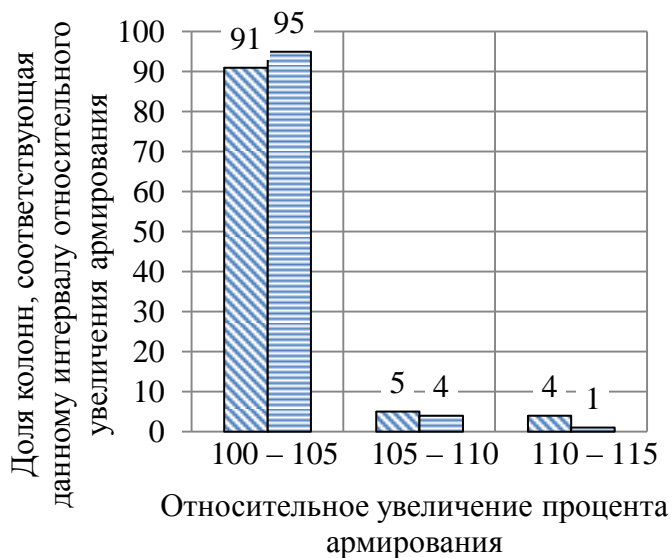
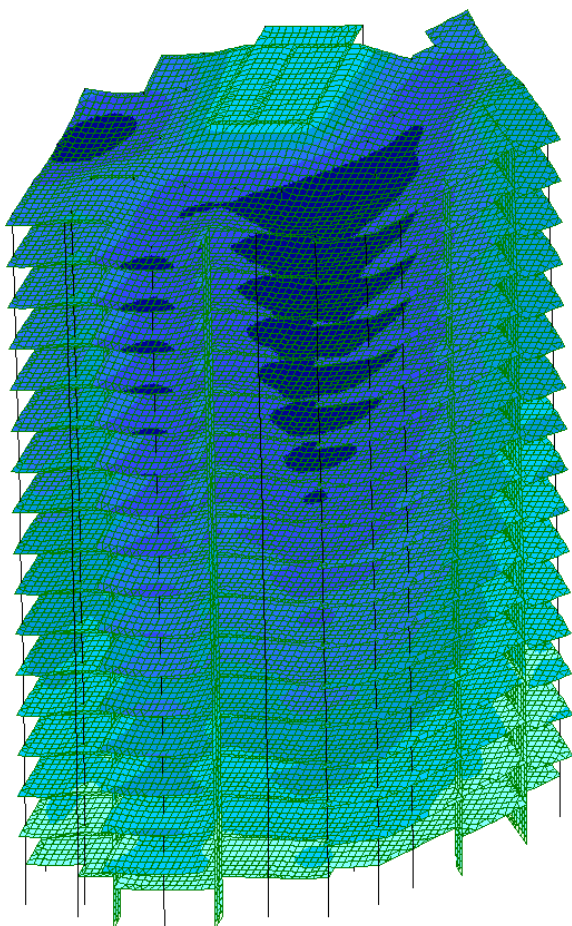
Рис. 14 Общий вид исследуемого здания

На стадии проектирования здания в ходе поверочных расчетов учет начальных несовершенств осуществлялся по общему методу для пространственной расчетной модели, то есть использовались четыре серии расчетов, включающие в себя по 12 расчетных схем в каждой (в виде ломаных синусоид с вертикальной осью и поэтажным сдвигом начальной фазы в пределах допусков СНиП 3.03.01-87). В результате изменилось требуемое армирование несущих элементов здания:

- 9% колонн потребовали дополнительного армирования в диапазоне от 5-15% (рис.15);
- плиты перекрытия потребовали увеличения требуемого армирования до 15% в приопорных зонах и до 10% в пролетной зоне (рис.16).

Изополюса вертикальных перемещений от действия основного сочетания нагрузок (мм)

- 27,6 -23 -18,4 -13,8 -9,8 -4,59 -0,275 0

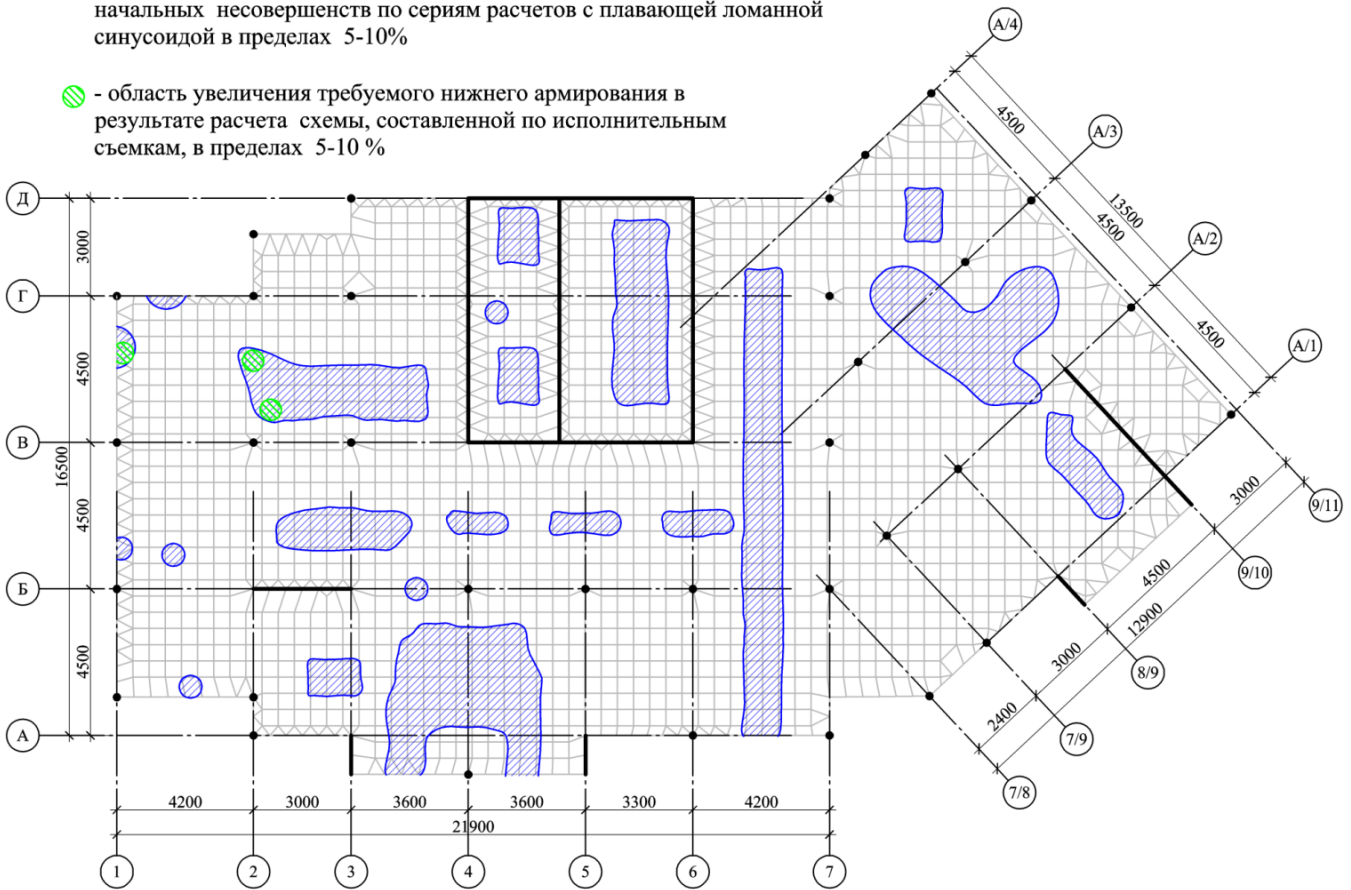


- Четыре серии расчетов включающих в себя по 12 расчетных схем (в виде ломаных синусоид с вертикальной осью) в каждой.
- Расчет здания с учетом несовершенств по фактическим формам (данным исполнительных съемок);

Рис. 15 Общий вид конечно-элементной модели. Относительное увеличение требуемого армирования колонн

⊖ - область увеличения требуемого нижнего армирования вследствие учета начальных несовершенств по сериям расчетов с плавающей ломанной синусоидой в пределах 5-10%

⊖ - область увеличения требуемого нижнего армирования в результате расчета схемы, составленной по исполнительным съемкам, в пределах 5-10 %



⊖ - область увеличения требуемого верхнего армирования вследствие учета начальных несовершенств по сериям расчетов с плавающей ломанной синусоидой в пределах 7-15%

⊖ - область увеличения требуемого верхнего армирования в результате расчета схемы, составленной по исполнительным съемкам, в пределах 5-10 %

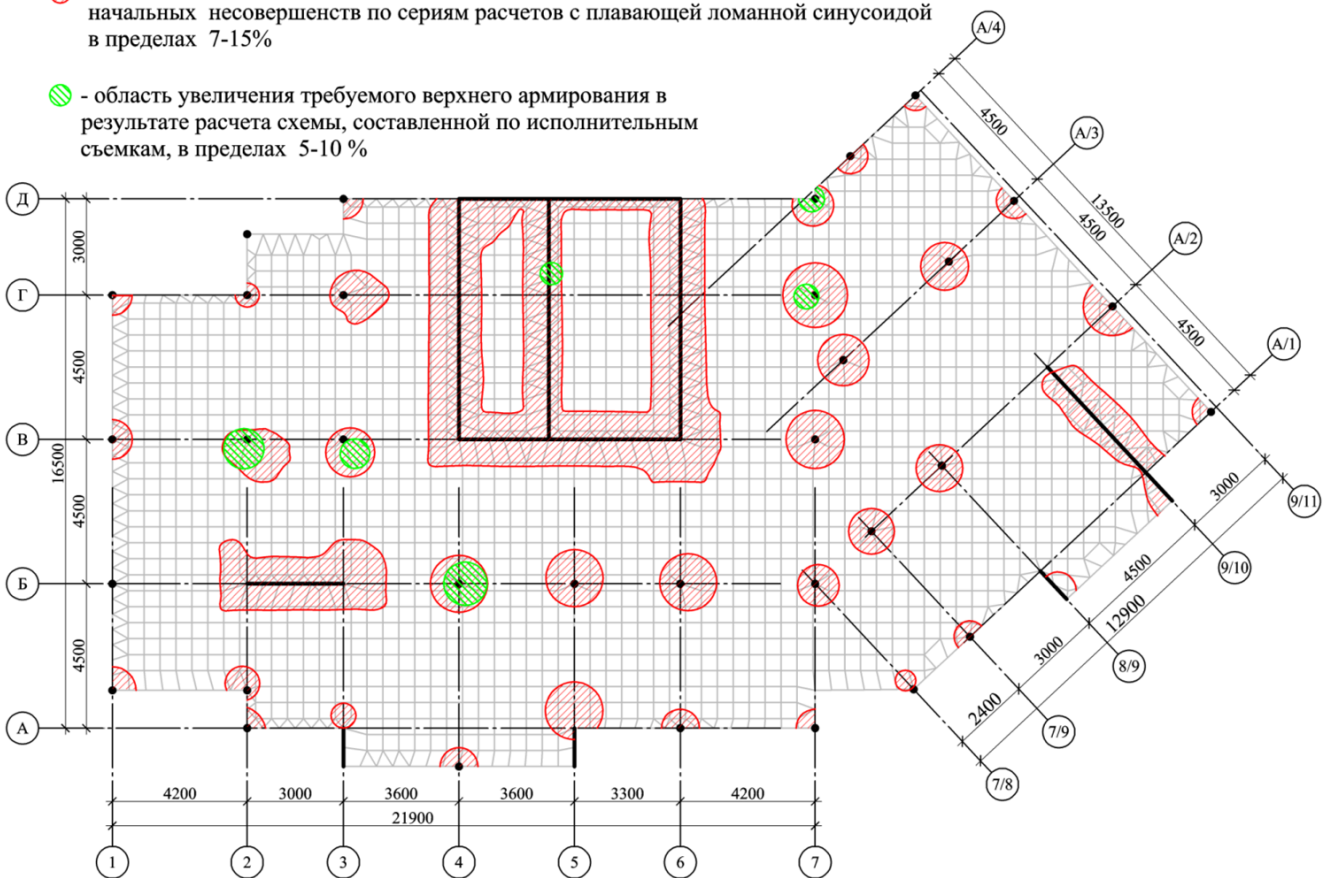


Рис. 16 Относительное увеличение требуемого армирования плиты перекрытия третьего этажа

После возведения здания, по данным исполнительной документации, была построена пространственная модель по форме фактических отклонений вертикальных несущих элементов здания, анализ которой показал, что изменилось требуемое армирование несущих элементов здания (по сравнению с расчетом идеализированной вертикальной схемы):

- 5% колонн потребовали дополнительного армирования в диапазоне от 5-15% (рис.15);
- плиты перекрытия потребовали увеличения требуемого армирования до 10% (рис.16).

Сопоставление результатов расчетов по общему методу с результатами расчета по форме фактических несовершенств показало работоспособность предлагаемого метода. Всем колоннам, потребовавшим дополнительного армирования при расчете по форме фактических несовершенств, предлагаемая методика «назначила» большее армирование на стадии проектирования. В отношении плит перекрытий аналогичная ситуация.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Выявлено, что для железобетонных монолитных каркасных зданий случайный эксцентриситет, используемый в Российских нормативных документах, не позволяет учесть влияние начальных отклонений от вертикали. Показано, что, согласно требованиям европейских норм (EN 1992-1-1), при проектировании учитываются отклонения, превосходящие соответствующие допуски на производство работ (ENV 13670). Выявлено противоречие, состоящее в том, что российский СНиП 3.03.01-87* регламентирует для производства строительных работ допуск на отклонение от вертикали монолитных железобетонных зданий до 10-15 этажей примерно в два раза меньший, чем указанный в аналогичных требованиях европейских норм (таким образом, предполагается более высокое качество строительства). Для заданий большей этажности российские нормы и еврокоды имеют аналогичные требования. При этом соответствующие российские нормы для расчета данных зданий практически не регламентируют учет данного явления на этапе проектирования;
2. Произведены и обработаны результаты измерений фактических горизонтальных отклонений. Выявлено, что отклонения от вертикали по высоте колонн чаще всего представляют собой ломаные кривые;
3. Произведен анализ величин горизонтальных отклонений, результатом которого является следующий вывод: для численных исследований можно рекомендовать максимальные значения допускаемых отклонений;
4. Предложен и обоснован общий метод оценки влияния начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов здания, способный оценивать ситуацию при любых конкретных граничных условиях: предельное значение общего наклона здания и предельно допустимые поэтажные горизонтальные отклонения вертикальных несущих элементов. В качестве общего метода предлагается использовать формы начальных горизонтальных отклонений от вертикали несущих элементов здания в виде ломаных синусоид,

- имеющих ограничение поэтажных отклонений и общей амплитуды, соответствующее предельным допускаемым нормативным требованиям на производство работ. Для полной оценки изменения НДС пространственной расчетной схемы здания, ввиду учета первоначальных геометрических отклонений и возможного крена, по данному методу необходимо проведение расчётов с учётом отклонений от вертикали по восьми направлениям плоской системы осей координат с шагом 45° ;
5. На примере реального 17-этажного здания продемонстрирована работоспособность общего метода. На стадии проектирования каркаса здания при выполнении поверочных расчетов учет начальных несовершенств производился по предлагаемому методу. После возведения здания была отобрана исполнительная документация, в соответствии с которой построена модель с учетом несовершенств по фактическим формам (данным исполнительных съемок). Сопоставление результатов расчетов по общему методу с результатами расчета по форме фактических несовершенств показало, что всем колоннам, потребовавшим дополнительного армирования при расчете по форме фактических несовершенств, предлагаемый метод «назначил» большее армирование на стадии проектирования. В отношении плит перекрытий наблюдается аналогичная ситуация.
 6. Наличие ядра или диафрагм жесткости, их местоположение, размеры и форма поперечного сечения здания, различные изменения по высоте, количество вертикальных рядов колонн, способы и виды приложения нагрузок, виды расчетных схем и способы учета деформирования материалов оказывают существенное влияние на результаты учета влияния начальных вертикальных отклонений и не имеют строгих математических зависимостей;
 7. Разработана инженерная методика учета влияния начальных горизонтальных отклонений вертикальных несущих элементов на их НДС. Данная методика позволяет решить проблему учета бесконечного разнообразия конструктивных и объёмно-планировочных решений железобетонных монолитных каркасных зданий при оценке влияния начальных горизонтальных отклонений вертикали несущих элементов на их НДС.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. **Лебедев, В.В.** Оценка влияния начальных несовершенств крена здания [Текст] / Игошин В.Л., Енджиевский Л.В., Лебедев В.В. // Жилищное строительство. 2009. № 8. С. 8–12 (из списка ВАК).

2. **Лебедев, В.В.** Сравнительный анализ современных технических средств для оценки крена сооружений [Текст] / Игошин В.Л., Лебедев В.В., Башаров К.Г. // Жилищное строительство. 2009. № 11. С. 34–36 (из списка ВАК).

3. **Лебедев, В.В.** Учет начальных несовершенств крена зданий на стадии проектирования [Текст] / Игошин В.Л., Лебедев В.В. // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 2–6 (из списка ВАК).

4. **Лебедев, В.В.** Расчёт при условии упругости или физической нелинейности? Оценка влияния при учёте начальных геометрических несовершенств [Текст] / В.В. Лебедев, В.Л. Игошин //Материалы III Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 80-летию НГАСУ(Сибстрин). – Новосибирск, 2010. – С.21 – 27.

5. **Лебедев, В.В.** Крен как необходимый фактор учета при проектировании [Текст] /В.Л. Игошин, В.В. Лебедев, К.Г. Башаров// Сборн. научн. трудов «Современные металлические и деревянные конструкции» Международного симпозиума. – Брест, 2009. – С. 92 – 97.

6. **Лебедев, В.В.** Оценка общего влияния геометрических несовершенств и крена фундамента на напряженно-деформированное состояние железобетонных труб / В. Л. Игошин, В. В. Лебедев, А.Н.Винник // XV Академические чтения РААСН [Текст] / Казан. гос. арх.-строит. ун-т. – Казань, 2010. - Т.2. – С22.-25.

7. **Лебедев, В.В.** Уточнение критерия переармирования в соответствии с деформационной теорией расчета железобетонных конструкций [текст]/ В.В. Лебедев, В.Л. Игошин // Проблемы строительства и архитектуры: сб.материалов XXV регион. науч.-техн. конф. – Красноярск, 2007. – С.49–52.

8. **Лебедев, В.В.** Анализ влияния крена на напряженно-деформированное состояние зданий с полным каркасом [текст]/ В.В. Лебедев, В.Л. Игошин //Интеллект – 2008: сб. материалов Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 ч. Ч.5. Красноярск, 2008. – С.7 – 10.

Подписано в печать 27.07.2011

Формат 60x84/16. Уч.-изд. л. 1,3

Тираж 100 экз. Заказ № 4595

Отпечатано:

Полиграфический центр Библиотечно-издательского комплекса

Сибирского федерального университета

660041, г.Красноярск, пр.Свободный, 82 а