

Государственный комитет СССР по народному образованию

Челябинский государственный  
технический университет

На правах рукописи

СИДОРОВ Игорь Владимирович

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ДОПУСКАЕМЫХ СКЛОНЕНИЙ  
РАЗМЕРОВ СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ

Специальность 05.23.01 - "Строительные ...  
конструкции, здания и  
сооружения"

Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Челябинск-1991

Работа выполнена в Челябинском государственном техническом университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
КЛЫКОВ Н. А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
ГВАМЧАВА А. С.,  
кандидат технических наук  
ШИБАЕВ У. П.

Ведущая организация – Челябинский завод металлоконструкций  
им. С. Орджоникидзе.

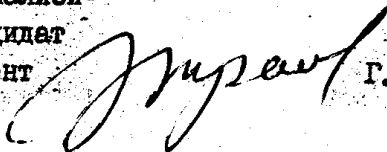
Защита состоится "26" июня 1991 г. в 10 час. на  
заседании специализированного совета К 053.13.05 при Челябинском  
государственном техническом университете по адресу: 454080, г. Че-  
лябинск, проспект им. В.И. Ленина, 76, ЧГТУ, ученый совет.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической би-  
блиотеке института.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные  
гербовой печатью, просим выслать по указанному выше адресу.

Автореферат разослан "24" 05 1991 г.

Ученый секретарь специализи-  
рованного совета, кандидат  
технических наук, доцент

  
Г. В. ТРЕГУЛОВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. Дальнейшее расширение индустриализации строительного производства и повышение производительности труда строительных и монтажных работ неразрывно связано с обеспечением качества строительства, одной из составляющих которого является обеспечение точности размеров строительных конструкций. Точность изготовления и монтажа конструкций определяет трудоемкость возведения зданий и сооружений и влияет на их надежность и долговечность. Низкая точность заводского изготовления конструкций приводит к необходимости выполнения при монтаже большого объема подгоночных работ. Известно, что трудоемкость дополнительных подгоночных работ на монтаже, вследствие недостаточной точности изготовления конструкций, достигает 20...30 %, а в отдельных случаях 50 % от общей трудоемкости монтажа, а затраты на ликвидацию дефектов и брака в результате ошибок технологии составляют около 4 % стоимости строительного-монтажных работ (до 4 млрд руб. ежегодно). Это же обстоятельство может явиться причиной появления дополнительных напряжений в сечениях элементов, а также аварий сооружений.

С другой стороны, изготовление деталей и элементов стальных конструкций с повышенной точностью приводит к резкому увеличению трудоемкости и стоимости конструкций при их производстве.

Поэтому для установления оптимальной точности конструкций и их элементов необходим анализ возможных погрешностей их изготовления и возведения сооружения, монтажными элементами которых они являются. Проведение такого анализа позволит обеспечить проектную геометрическую схему сооружения и минимальный уровень подгоночных работ.

Таким образом, решение проблемы научно обоснованной регламентации геометрической точности в строительстве является актуальной задачей.

Диссертация выполнена в соответствии с целевыми комплексными научно-техническими программами Госстроя СССР О.Ц.031.055.16Ц.07.05 "Провести исследования и разработать систему государственных стандартов и методических документов по обеспечению точности геометрических параметров, обеспечивающих надежность строительных конструкций" и О.Ц.007. "Создание и внедрение технологических процессов и технических средств для поиска, разведки и промышленного освоения нефтяных и газовых месторождений континентального шельфа СССР", подпрограмма 01.03.

Целью диссертационной работы является совершенствование методики определения и назначения допускаемых отклонений размеров стержневых стальных строительных конструкций из условия обеспечения собираемости и сохранения проектной геометрической схемы сооружения.

Научная новизна работы заключается: в установленных зависимостях между функциональными требованиями и конструктивными решениями стальных строительных конструкций; зависимостях, связывающих величины дополнительных усилий в элементах стальных строительных стержневых конструкций с величинами геометрических погрешностей их исполнения; в обосновании величин предельных отклонений геометрических параметров стальных строительных стержневых конструкций, обеспечивающих расчетный уровень напряжений и приемлемый уровень собираемости; в результатах массового статистического исследования фактической точности геометрических параметров элементов и конструкций в условиях существующей технологии.

Практическая ценность работы состоит в усовершенствовании методики определения и назначения допускаемых отклонений геометрических параметров стальных строительных конструкций, на основе которой разработаны руководящие документы по проведению размерных расчетов точности стальных строительных конструкций на разных этапах проектирования в проектных организациях и при подготовке производства на заводах-изготовителях. Методика позволяет оценить изменение напряженного состояния элементов стальных строительных конструкций в зависимости от геометрических неточностей их изготовления и монтажа.

На основе полученных результатов исследования решена актуальная задача, связанная с назначением допускаемых отклонений элементов-конструкций при их производстве и монтаже последних.

Реализация и внедрение результатов. Материалы исследования явились основой для разработки руководящего документа "Блоки стальные опорные морских стационарных платформ для незамерзающих акваторий. Нормы точности геометрических параметров". РД 39-3.83. 5265.01-90/Миннефтегазпром СССР.-М.:ВНИИОЭНГ, 1990.-20 с.

Результаты исследований использованы при разработке государственных стандартов:

- "Конструкции стальные строительные. Общие технические условия";

- "Фермы стальные стропильные с верхним поясом из широкополочного двутавра для неотапливаемых производственных зданий. Технические условия";

- "Балки подкрановые стальные для мостовых опорных кранов грузоподъемностью до 500 т. Технические условия";

- "Прогонь стальные решетчатые пролетом 12 м для металлических кровель. Технические условия".

Материалы работы использованы также при составлении первой редакции "Методики определения необходимой точности изготовления и сборки стальных конструкций производственных зданий в чертежах КМ" 47-И26-88, разработанной ЦНИИПроектстальконструкция им. Мельникова.

Результаты работы используются в учебном процессе.

На защиту выносятся:

- методика определения и назначения допускаемых отклонений геометрических параметров стальных строительных конструкций;

- установленные зависимости между функциональными требованиями и конструктивными решениями стальных строительных конструкций и зависимости, связывающие величины дополнительных усилий в элементах стальных строительных конструкций с величинами геометрических погрешностей их исполнения;

- результаты статистических исследований фактической точности стальных строительных конструкций.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертационной работы были доложены на:

IX научно-технической конференции молодых специалистов и ученых В/О "СоюзметаллостройНИИпроект" "Повышение эффективности и совершенствование проектирования, исследования, изготовления и монтажа металлоконструкций", Жданов, сентябрь, 1985;

заседании Бюро научно-координационного совета по строительным металлическим конструкциям и их сварке Госстроя СССР, июнь, Москва, 1986;

научно-техническом семинаре Уральского дома научно-технической пропаганды "Проектирование, строительство и реконструкция промышленных предприятий в условиях технического перевооружения", Челябинск, ноябрь, 1986;

Всесоюзном научно-техническом совещании "Экспериментальные исследования и испытания строительных металлоконструкций", Львов, май, 1987;

научно-технической конференции молодых специалистов и ученых В/О "СоюзметаллостройНИИпроект" "Повышение эффективности и совершенствование проектирования, исследований, изготовления и монтажа металлоконструкций", Ягнитогорск, октябрь, 1987;

производственно-техническом семинаре "Повышение качества и надежности строительных металлоконструкций", Челябинск, сентябрь, 1988;

Четвертой Украинской республиканской научно-технической конференции по металлическим конструкциям "Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений", Симферополь, Черноморск, октябрь, 1988;

Международном Коллоквиуме "Болтовые и специальные монтажные соединения", Москва, май, 1989;

научно-исследовательском семинаре В/О "СоюзметаллостройНИИ-проект" ЦНИИПроектстальконструкция "Исследование и проектирование металлических конструкций" по теме "Неточности изготовления и монтажа строительных конструкций и их влияние на напряженно-деформированное состояние", Москва, октябрь, 1989;

научно-технической конференции Севастопольского филиала РДЭНТИ УССР "Морские сооружения континентального шельфа", Севастополь, ноябрь, 1989;

ежегодных (1985...1989 г.г.) научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, списка использованной литературы из 148 наименований и приложений; изложена на 115 страницах машинописного текста, содержит 46 таблиц и 57 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и дана общая характеристика работы.

Первая глава содержит обзор и анализ современного состояния вопросов, связанных с точностью изготовления и монтажа строительных конструкций, ее характеристиками, системой допусков, методами назначения и расчета допускаемых отклонений геометрических параметров стальных строительных конструкций.

Показано, что проблемам точности стальных строительных конструкций посвящали работы Беляев А.В., Беляев Б.И., Чесноков А.С., Рамбиди Г.И., Косоруков В.А., Котлов А.Ф., Мюйжес Б.Я., Лаковский Д.М., Конаков А.И., Губайдулин Р.Р., Зильбер Я.М., Лившиц Л.Н., Вайнштейн Е.И., Ляховецкий А.М., Гвамичава А.С., Посельский Ф.Ф.,

Шебалина О.В., Лебедев Е.В. и др. Исследовались вопросы: фактической точности заводского изготовления конкретных типов деталей или технологических операций; фактической точности монтажа отдельных конструкций (в большинстве случаев конструкций одноэтажных производственных зданий); расчетно-аналитического определения допускаемых отклонений из условия собираемости; влияния геометрических несовершенств конструкций на их несущую способность. Анализ показывает, что в подавляющем большинстве работ авторы на основании проведенных статистических исследований и полученных характеристик точности рассчитывали точность собираемых конструкций и, сравнивая ее с нормативной, пытались оптимизировать технологические процессы по уровню необходимой и технологически достижимой точности. Другим направлением являлось составление размерных цепей погрешностей и расчета точности монтажа основных конструкций производственных зданий по допускаемым отклонениям действующих нормативных документов для оценки уровня собираемости или для назначения допусков из условия заданного уровня собираемости, практически не затрагивая вопроса влияния принятых допускаемых отклонений на несущую способность конструкций и всего сооружения в целом.

Сделан вывод, что в металлостроительстве действует большое количество нормативных документов, причем сравнение допускаемых отклонений геометрических параметров, приведенных в них, показывает их явную несогласованность. Также отмечается, что нормы точности в существующих нормативных документах ориентированы на конкретные конструкции и становятся непригодными при назначении допусков на новые конструкции.

Показано, что допускаемые отклонения, приведенные в строительных нормах и правилах на производство стальных строительных конструкций, получены на основе системы допусков в машиностроении с незначительной ее корректировкой по результатам статистических исследований фактической точности.

Отмечено, что действующий комплекс стандартов "Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве", хотя и распространяется на все строительные конструкции, разработан на основе исследований по железобетонным конструкциям и изделиям крупнопанельного домостроения и в нем не учтена специфика стальных конструкций.

Сделан вывод, что введение "Системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве" не решило в проса об установлении допусков на геометрические параметры стальных строи-

тельных конструкций, так как, хотя она и содержит все теоретические предпосылки расчета точности, не дает методики назначения допусков, приводящей к однозначности решения.

По результатам проведенного обзора сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе описана разработанная методика проведения размерного анализа стальных строительных конструкций и примеры ее практического применения. Основными моментами разработанной методики являются (рис. 1):

- выбор функциональных требований к конструкциям;
- анализ сопряжений конструкций по точностным признакам;
- проведение размерных расчетов сооружения;
- оценка возможного изменения расчетной схемы сооружения при принятых отклонениях геометрических параметров составляющих его конструкций;

- проведение размерных расчетов самих конструкций;
- проверка возможности достижения требуемой точности.

В отличие от существующих, разработанная методика позволяет проводить размерный анализ путем прямого расчета точности (нахождение составляющих допусков по заданному замыкающему) с фиксацией исходных параметров при альтернативности принятия решений.

Функциональные требования связаны с обеспечением проектного уровня надежности и долговечности конструкций и их эстетического восприятия и устанавливаются расчетным путем (прочность, устойчивость, усталость и т.д.) на основе экспериментально-теоретических исследований, из условия соблюдения эксплуатационно-технологических требований и т.д., и зависят от конкретных конструктивных решений как самих элементов, так и их сопряжений.

Технологические условия качественного выполнения того или иного сопряжения (сварного, болтового и т.д.) определяют величину допускаемых зазоров или несовпадений в соединении и, следовательно, допускаемые отклонения величин зазоров и несовпадений. То есть, геометрические размеры и допускаемые отклонения зазоров и несовпадений не зависят от вида сопрягаемых конструкций и элементов и их номинальной длины, а наоборот обуславливают степень точности этих конструкций и элементов из условия качественного выполнения сопряжения. Поэтому основной предпосылкой проведения размерного анализа является положение, что предельные размеры конструкций и элементов (или отклонения от номинальных размеров) определяются условием надлежащего выполнения их сопряжения. При-



# СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

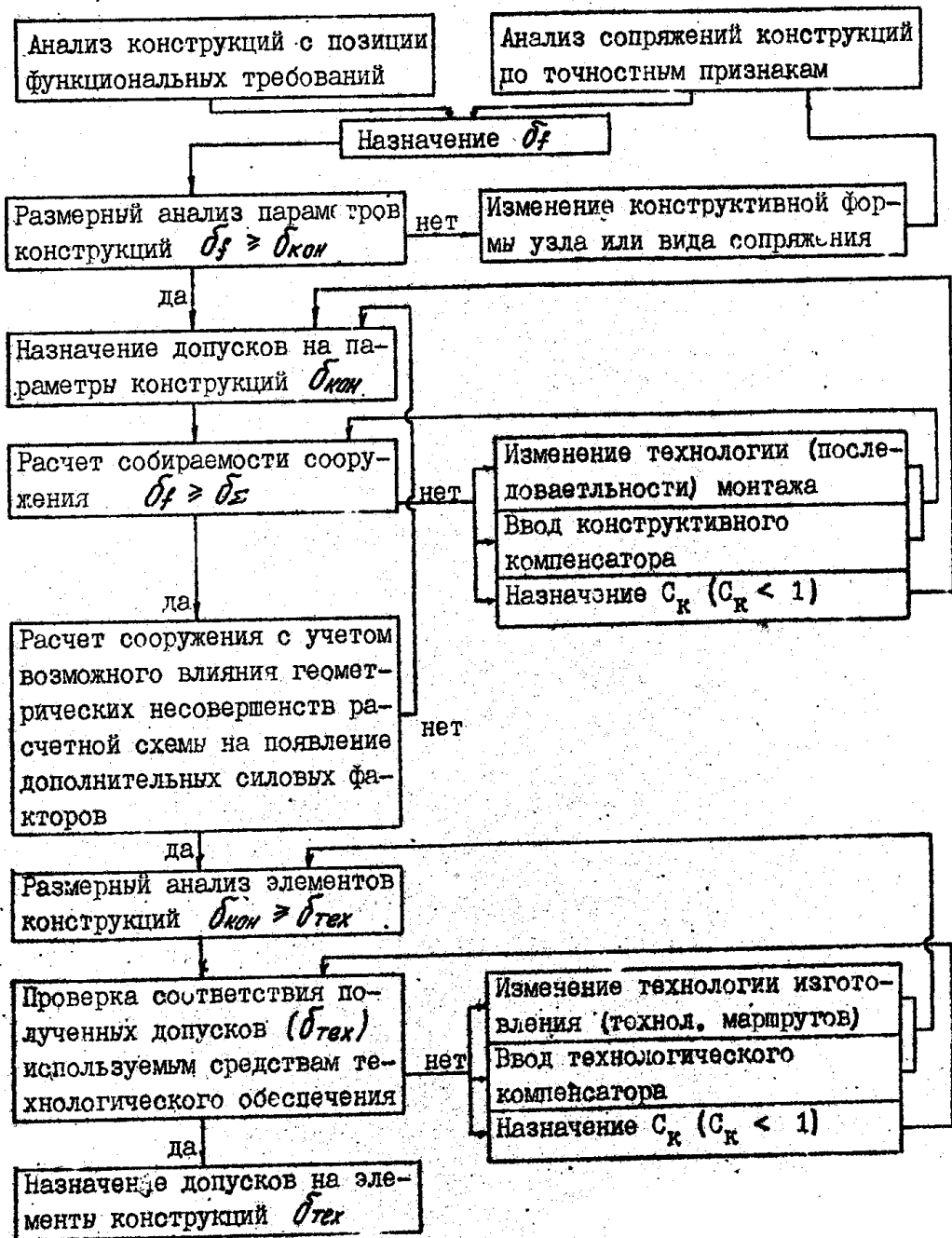


Рис. 1.

чем, по сопряжению понимается как конструктивное (болтовое, сварное и т.д.), так и функциональное (эксплуатационное) сопряжение (проектное положение осей, поверхностей и т.д.).

Предложена классификация конструктивных сопряжений с дифференциацией по степени точностных требований к ним, охватывающая все возможные типы конструктивных соединений, встречающиеся в стальных строительных конструкциях (рис. 2):

1 - контактное, с нулевым зазором, когда один элемент укладывается или примыкает непосредственно к другому (фрезерованные или строганные поверхности, фланцевые соединения);

2 - контактно-сварное, со строго фиксированной величиной зазора, обусловленным качественным выполнением технологической операции сварки (стыковые и тавровые сварные швы);

3 - осе-сопряженное соединение соответствует многоосевым болтовым соединениям (число осей, перпендикулярных продольной оси соединения, больше двух) и соединениям с полями болтов, независимо от количества осей;

4 - осе-фиксированное соединение соответствует одно- либо двухосевым болтовым соединениям;

5 - контактно-монтажное, с возможностью ограниченного изменения величины зазора или несовпадения в пределах элемента;

6 - свободное, в котором возможность изменения величины сопряжения в принципе не ограничивается конструктивным решением соединения.

Отмечено, что функциональные и конструктивные требования не зависят от возможностей технологии изготовления и монтажа, а определяются лишь назначением конструкции и конструктивными решениями узлов, принятыми на стадии проектирования. Эти требования обязательны для выполнения и одинаковы для всех монтажных и технологических организаций. Однако при разработке проекта конструкции необходимо учитывать технологию ее изготовления и, следовательно, должны не только назначаться требования к точности, но и проверяться возможность ее достижения. При отсутствии реальных возможностей достижения требуемой точности, требуется пересмотр конструктивных решений. В связи с этим конструктору необходим справочный материал по существующей технологии изготовления и технологически достижимой точности отдельных процессов и операций при изготовлении стальных строительных конструкций, чему посвящена глава 3.

Особенностью разработанной методики является также введение

Классификация конструктивных сопряжений, по степени предъявляемых к ним точностных требований

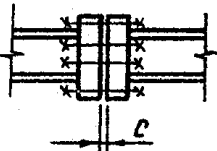
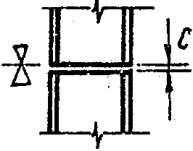
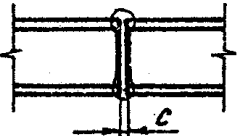
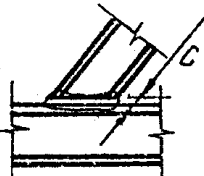
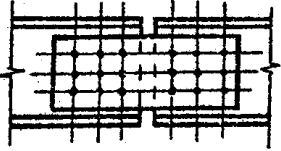
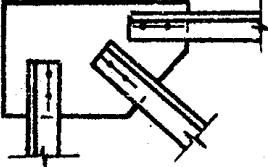
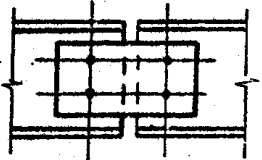
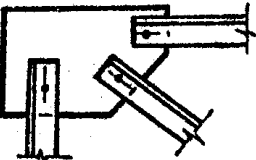
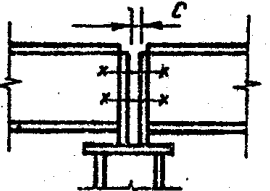
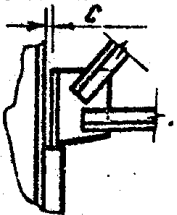
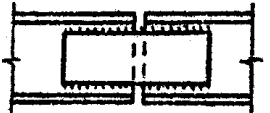

Наименование	Эскиз	
Контактное $C = 0$		
Контактное - - сварное $C = a$		
Осе - - сопряженное		
Осе-фиксиро- ванное		
Контактное - - монтажное $0 < C < b$		
Свободное		

Рис. 2

расчета сооружения с учетом возможного влияния геометрических несовершенств расчетной схемы в результате принятых отклонений составляющих ее параметров на появление дополнительных силовых факторов. Решению этого вопроса посвящена глава 4.

Последующие этапы разработанной методики связаны с проверкой возможности достижения принятых точностных требований средствами технологического обеспечения и структурно составляют отдельный блок в расчете точности. Данный этап расчета целесообразней проводить на заводах-изготовителях, хотя в случаях проектирования особо сложных, ответственных или уникальных конструкций, выполнение его необходимо проводить в проектных организациях.

В качестве иллюстрации предлагаемой методики выбрано два типопредставителя сооружений с использованием стальных конструкций. Первый — конструкции одноэтажного производственного здания (ОПЗ), на долю которых приходится более 60% всех стальных строительных конструкций, изготавливаемых и монтируемых в настоящее время. Второй — конструкции опорного блока морской стационарной платформы (ОБ МСП) для добычи нефти и газа в незамерзающих акваториях континентального шельфа. Выбор конструкций (ОБ МСП) обусловлен новизной и уникальностью конструкции, а также практически полным отсутствием нормативно-технических документов, регламентирующих их проектирование и изготовление.

На основе разработанной методики получены размерные зависимости между функциональными требованиями и конструктивными решениями стальных строительных конструкций ОПЗ и ОБ МСП.

Расчетами показано, что уровень собираемости конструкций ОПЗ, обеспечиваемый допусками, полученными расчетами по предлагаемой методике, выше, чем уровни собираемости, обеспечиваемые допусками, приведенными в существующих нормативных документах, и составляет 0,813 и выше.

Расчетом по полученным размерным зависимостям впервые получены допуски на геометрические параметры элементов и опорного блока в целом, обеспечивающие надлежащее качество монтажных соединений и минимум дополнительных работ на монтажной площадке, согласующиеся с техническими требованиями зарубежных фирм-производителей.

В третьей главе приведены результаты исследования фактической точности изготовления деталей и элементов стальных строительных конструкций и анализ возможности достижения требуемой точности.

Разработана практическая методика проведения замеров действительных отклонений геометрических параметров деталей, элементов и конструкций. Методика включает в себя: последовательность проведения работ; средства и способы проведения замеров; методику обработки исходных данных и форму их представления. По данной методике собиралась и обрабатывалась исходная статистическая информация об отклонениях геометрических параметров деталей и элементов, используемых при изготовлении стальных строительных конструкций, а также самих конструкций. Всего выполнено около 30 000 замеров (23000 - конструкции ОПЗ, 7000 - конструкции ОБ МСП).

Собранная исходная статистическая информация обрабатывалась и приводилась к виду, удобному для решения поставленных в диссертации задач.

Исходные данные отклонений геометрических параметров изучали как случайные величины. Исследования показали, что отклонения геометрических параметров деталей, элементов и конструкций можно считать распределенными или нормально, или по закону существенно положительных величин.

Установлено, что точность изготовления элементов конструкций и отдельных технологических операций по большинству регламентируемых параметров ниже нормативной и определяется, в основном, точностью операции разметки, которая в настоящее время очень низкая. Переход на безразметочные технологические процессы (применение станков с программным управлением) повышает точность изготовления деталей в 3...4 раза.

В результате исследования установлены среднестатистические классы точности (по ГОСТ 21779-82) основных технологических операций изготовления и сборки строительных стальных конструкций при существующей технологии их изготовления (табл.). Отмечено, что использование полученных данных о фактической точности для прямого назначения допусков неправомерно, так как не дает ответа на вопрос о необходимом уровне точности.

Расчетом установлено, что средний уровень бесподгоночной сборки при существующем уровне точности технологических операций, обеспечиваемый при допусках, полученными расчетом по предлагаемой методике (95,7%), выше, чем аналогичный показатель, обеспечиваемый допусками, приведенными в существующих нормативных документах (СНиП Ш-18-75 - 89,65%, ГОСТ 21779-82 - 78,86...88,23%).

Показано также, что величины принятых предельных отклонений в "Системе обеспечения точности геометрических параметров в строи-

Тельство не увязаны с видами сопряжений деталей и элементов и их назначением.

Таблица

Классы точности основных технологических операций  
при изготовлении стальных конструкций

Операция	Класс точности по ГОСТ 21779-82
Правка: лист	2
профиль	5
Разметка	6...7
Резка: механическая – гильотиной	5...6
– дисковыми пилами	2...3
термическая – ручная	4...5
– полуавтоматическая	3...5
– автоматическая:	
– прямолинейная	3...5
– фигурная	2...3
Вальцовка	6...7
Строгание	4...5
Фрезерование	3...4
Сверление: по наметке	4...6
по кондукторам	4...5
на станках с ЧПУ	2...3
Пробивка отверстий	4...6
Сборка конструкций: на плитах	6...7
по копиру	5...6
в кондукторах	3...5

В четвертой главе приведены результаты определения влияния геометрических несовершенств расчетной схемы сооружения на появление дополнительных силовых факторов.

Приведен анализ существующих способов определения возможных начальных усилий в сооружениях вследствие неточностей изготовления и монтажа отдельных его элементов. Отмечено, что вопросы теоретического определения вероятных начальных усилий, вызванных технологическими ошибками изготовления и монтажа, равноительно слабо освещены в современной научной литературе, хотя вопрос о влиянии геометрических несовершенств на несущую способность конструкций рассматривался Б.И.Беляевым уже в его пионерных работах по допускам.

Влиянию начальных несовершенств стальных строительных конструкций на их несущую способность посвящены работы Косорукова В.А., Эльхусейна М., Зильбера Я.М., Гвамичавы А.С., Посельского Ф.Ф., Сухова Ю.Д., Стегачева Б.П., Савельева В.А., Лебеда Е.В. Анализ этих работ показывает, что задача оценки напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений при наличии начальных несовершенств их геометрических параметров связана с задачей моделирования этих несовершенств и их сочетаний или нахождением зависимости усилие-несовершенство в вероятностной постановке. Для решения задач такого рода применяют численные способы решения при помощи моделирования случайных величин статистическими методами (метод планирования эксперимента или метод Монте-Карло) или вероятностной интерпретацией классических методов строительной механики.

На основании проведенного анализа обоснованы методы исследования напряженно-деформированного состояния: конструкций ОПЗ - метод статистического планирования эксперимента с моделированием случайных отклонений в соответствии с выбранным факторным планом, конструкций ОБ МСП - метод статического расчета стержневых систем с использованием формулы Мора и теорем теории вероятности.

Для решения задачи определения влияния отклонений геометрических параметров конструкций ОПЗ на их напряженно-деформированное состояние рассматривали поперечную раму с моделированием следующих отклонений:  $X_1$  - смещение низа колонны с разбивочной оси;  $X_2$  - отклонение верха колонны от вертикали;  $X_3$  - эксцентриситет приложения крановой нагрузки;  $X_4$  - несоосность надкрановой и подкрановой частей колонны;  $X_5$  - искривление подкрановой части колонны;  $X_6$  - искривление надкрановой части колонны;  $X_7$  - отклонение отметки опорного узла фермы.

Раму рассматривали в упругой стадии работы, в которой дополнительные усилия пропорциональны величинам геометрических погрешностей. В качестве моделей приняты интерполяционные полиномы. Коэффициенты при независимых переменных определяли по величинам усилий, определенными из статических расчетов рамы при фиксированных значениях факторов (отклонений).

Реализацию каждого конкретного опыта с моделированием отклонений геометрических параметров проводили статическим расчетом рамы по программе "РАСК" на ЕС 1060. За функцию отклика выбрана величина изменения нормальных напряжений в фиксированных сечениях. Изменение напряжений рассчитывали как отношение величины напряже-

ний в результате реализации конкретного опыта к величине напряжений в "нулевом" опыте (расчет рамы без смещений).

Обработка полученных данных позволила получить оценки параметров для составления эмпирических моделей вида

$$y_j = b_{0j} + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i, \quad (1)$$

где  $x_i$  - величина  $i$ -го отклонения элемента рамы;  $b_{0j}$  - величина начального усилия в  $j$ -м сечении при сочетании основных уровней параметров ( $x_i = 0$ );  $b_{ij}$  - коэффициент, характеризующий степень влияния  $i$ -го параметра на величину начального усилия в  $j$ -м сечении;  $y_j$  - величина начального усилия в  $j$ -м сечении.

По полученным зависимостям рассчитаны уровни дополнительных напряжений в элементах каркаса ОПЗ при допускаемых отклонениях на геометрические параметры, полученными расчетом по разработанной методике и приведенными в различных нормативных документах.

В соответствии с принятым способом, определение начальных усилий в конструкциях ОБ МСП вели, используя формулу Мора и теоремы теории вероятности.

Величины начальных усилий определяли следующим выражением

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_k = & \frac{E}{\sigma_k} \left[ M(\delta) \left( 1 - \frac{2}{\sum_{i=1}^n \bar{N}_{ik}} \right) - \frac{2}{\sum_{i=1}^n} M(\varphi_i) \bar{m}_{ik} + \right. \\ & \left. + 2 \sqrt{D(\delta) \left( 1 - 2 \bar{N}_{kk} + \frac{2}{\sum_{i=1}^n \bar{N}_{ik}^2} \right) + \frac{2}{\sum_{i=1}^n} D(\varphi_i) \bar{m}_{ik}^2} \right] \pm \\ & \pm \frac{R_k}{2\lambda} \left( \frac{2}{\sum_{i=1}^n} \left[ M(\varphi_{in}) \bar{m}_{in} + M(\varphi_{ik}) \bar{m}_{ik} \right] + M(\delta) \frac{2}{\sum_{i=1}^n} \bar{N}_i + \right. \\ & \left. + 2 \sqrt{\frac{2}{\sum_{i=1}^n} \left( D(\varphi_{in}) \bar{m}_{in}^2 + D(\varphi_{ik}) \bar{m}_{ik}^2 \right) + D(\delta) \frac{2}{\sum_{i=1}^n} \bar{N}_i^2} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\bar{N}_{ik}$ ,  $\bar{m}_{ik}$  - соответственно сила и момент в  $i$ -м стержне от единичных и взаимно уравновешенных сил, приложенных к концам  $k$ -го стержня;  $\delta$  - ошибка в длине изготовления стержня;  $\varphi_i$  - взаимный перекос торцов  $i$ -го стержня;  $\bar{N}_i$ ,  $\bar{m}_{in}$ ,  $\bar{m}_{ik}$  - соответственно сила и моменты в начале и в конце  $i$ -го стержня от единичных моментов, приложенных к  $k$ -му стержню;  $\lambda$  - расстояние от рассматриваемого сечения до границы зоны (длина зоны -  $2\lambda$ );  $M(x)$ ,  $D(x)$  - статистические характеристики (математическое ожидание и дисперсия) исследуемых ошибок;  $\sigma_k$ ,  $R_k$  - соответственно длина и диаметр  $k$ -го стержня.

Определение соответствующих усилий и моментов проводили статическим расчетом на действие единичных усилий и моментов для каждого стержня панели ОБ МСП.

Приведена оценка возможных начальных усилий в элементах ОБ МСП при отклонениях, рассчитанными по разработанной методике и



фактических, полученных на основании статистического анализа.

Глава пятая содержит сведения о практическом использовании и внедрении полученных результатов.

В заключении намечены основные направления дальнейшего развития работы, ориентированные на расширение номенклатуры исследуемых конструкций, дальнейшее уточнение возможностей технологических процессов в части точности, исследование вопросов зависимости трудоемкости изготовления и монтажа от степени предъявляемых точностных требований, получение зависимостей усилие-несовершенство в более простой постановке и как вариант - введением в прочностной расчет коэффициента точности с дифференциацией по видам сопряжений, конструкций и сооружений.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В настоящее время в металлостроительстве официально действует много различных нормативных документов, в которых нормы точности не согласуются между собой, ориентированы на конкретные конструкции и становятся непригодными при назначении допусков на новые конструкции. Отсутствует методика, позволяющая однозначно определять допуски на геометрические параметры стальных строительных конструкций, что вызывает необходимость разработки такой методики.

2. Комплекс стандартов "Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве" разработан на основе исследований в области железобетонных конструкций и изделий крупнопанельного домостроения и не учитывает специфику производства и монтажа стальных конструкций. Не учтено также возможное влияние геометрической неточности элементов на их несущую способность.

3. На основе достижений в машиностроении в области назначения и расчета точности усовершенствована методика проведения размерного анализа стальных строительных конструкций на разных этапах проектирования и при подготовке производства на заводах-изготовителях, позволяющая однозначно определять допуски на размеры конструкций и их элементы из условия надлежащего выполнения их сопряжения, обеспечения собираемости и сохранения проектной геометрической схемы сооружения.

4. На основании проведенного размерного анализа на базе теории размерных цепей погрешностей установлены зависимости между функциональными требованиями и конструктивными решениями стальных строительных конструкций в соответствии с положениями разработанной методики. Зависимости позволяют определить допуски на все гео-

метрические параметры конструкций одноэтажных производственных зданий и опорных блоков морских стационарных платформ.

5. На основании факторного анализа усилий в поперечной раме ОПЗ с начальными геометрическими несовершенствами составляющих ее конструкций получены зависимости, связывающие величины начальных усилий в элементах рамы с величинами этих геометрических несовершенств. Зависимости позволяют получить величины начальных усилий при любых сочетаниях и величинах погрешностей, а также проанализировать степень влияния каждой из погрешностей. Установлено, что максимально возможная величина начальных усилий, возникающая в элементах поперечной рамы, при отклонениях их геометрических параметров, не превышающих допускаемых, полученных расчетом по предлагаемой методике, не превышает 6,9% (при средней величине 2,55%).

6. Проведено исследование возможных начальных усилий, возникающих в элементах ОБ МСП в условиях геометрической неточности их исполнения. Показано, что величина начальных усилий, возникающих в элементах при отклонениях их геометрических параметров, полученных расчетом по предлагаемой методике, не превышает 3,57% расчетных и не оказывает существенного влияния на их работоспособность.

7. С помощью разработанной методики получены обоснованные величины допускаемых отклонений, обеспечивающие сохранение проектной геометрической схемы сооружения и приемлемый уровень собираемости, для конструкций одноэтажных производственных зданий и, впервые, для конструкций опорного блока морских стационарных платформ.

8. На основании проведенных исследований фактической точности геометрических параметров деталей и элементов стальных строительных конструкций установлены реально достижимые классы точности технологических операций их изготовления и сборки при существующей технологии. Полученные данные могут быть использованы как справочный материал при проектировании стальных конструкций.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Козятинская А.М., Сидоров И.В. Исследование фактической точности изготовления конструкций производственных зданий на заводе металлоконструкций // Исследования по строительной механике и строительным конструкциям: Тематич. сб. науч. тр. - Челябинск, ЧПИ, 1985. - С.80-84.

2. Губайдуллин Р.Г., Сидоров И.В., Козятинская А.М. Влияние неточностей изготовления металлоконструкций на их собираемость на монтаже // Проектирование, строительство и реконструкция промыш-

ленных предприятий в условиях технического перевооружения: Тез. докл. науч.-техн. семинара. - Челябинск, 1986. - С. 11-13.

3. Сидоров И.В., Козятинская А.М., Крушнов И.А. Влияние точности изготовления строительных металлических конструкций на их собираемость и появление в них дополнительных усилий // Исследования по строительной механике и строительным конструкциям: Тематич. сб. науч. тр. - Челябинск, ЧПИ, 1987. - С. 52-57.

4. Губайдулин Р.Г., Сидоров И.В., Козятинская А.М. Исследование фактической точности изготовления металлоконструкций и ее влияние на эксплуатационные свойства конструкций // Экспериментальные исследования и испытания строительных металлоконструкций: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания. - Львов, 1987. - С. 36-37.

5. Губайдулин Р.Г., Сидоров И.В. Проектный расчет собираемости стальных конструкций по размерам. - В кн.: Повышение качества и надежности строительных металлоконструкций. - Челябинск, УДНТИ, 1988. - С. 55-56.

6. Губайдулин Р.Г., Сидоров И.В., Козятинская А.М. О точности изготовления строительных металлических конструкций одноэтажных производственных зданий // Промышленное строительство, 1989. - №5. - С. 35-36.

7. Губайдулин Р.Г., Сидоров И.В. Влияние точности образования отверстий на собираемость болтовых соединений // Болтовые и специальные монтажные соединения: Материалы Международного Коллоквиума. Т.3. - Москва, 1989. - С. 57-59.

8. Губайдулин Р.Г., Сидоров И.В., Пестряев В.А. Обоснование величин допускаемых отклонений геометрических параметров элементов морских стационарных платформ // Морские сооружения континентального шельфа: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Севастополь, 1989. - С. 75-77.

9. Губайдулин Р.Г., Сидоров И.В. Определение необходимой точности изготовления и сборки стальных конструкций производственных зданий: Учебное пособие. - Челябинск, ЧПИ, 1990. - 47 с.

10. Сидоров И.В. Методика проведения размерного анализа строительных стальных конструкций на стадиях проектирования // Металлические и пластмассовые конструкции: Тематич. сб. науч. тр. - Челябинск, ЧПИ, 1990. - С. 65-72.

11. Губайдулин Р.Г., Сидоров И.В., Александрова М.Л. О точности изготовления стальных конструкций опорных блоков морских стационарных платформ // Промышленное строительство. - 1991. - №2. - С. 13-15.