

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет»

На правах рукописи

Курочкин Николай Васильевич

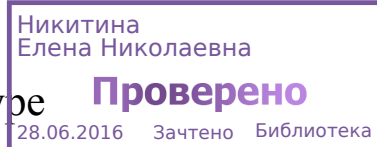
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Кафедра «Строительство и архитектура»
Направление 08.04.01 – «Строительство»
Профиль– Обеспечение организационно-технологической
деятельности в строительстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени магистра наук

Комсомольск-на-Амуре
2016г.



Работа выполнена на кафедре «Строительства и архитектуры»
Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент

Чудинов Ю.Н.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Рецензент: начальник отдела по ведению реестра муниципальной
собственности, по работе с муниципальными предприятиями и учреждениями
комитета по управлению имуществом, кандидат экономических наук, доцент.

Гутник Е.А.

Защита состоится «22» июня 2016 г. в ___ часов на заседании
государственной аттестационной комиссии в Комсомольском-на-Амуре
государственном техническом университете по адресу: 681013, г.
Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ФГБОУ ВО «КНАГТУ», ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре «Строительства и
архитектуры» КНАГТУ.

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования.

В работе рассматривается проблема, актуальная для всех организаций проектирующих здания в сейсмоопасных районах, потому как после ввода нового нормативного документа СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» большая часть зданий попала под ту категорию объектов, для которых расчеты необходимо вести по максимальному расчетному землетрясению. Данные расчеты предполагают анализ как минимум в двух программных комплексах, с учетом не менее 5 наборов акселерограмм (согласно СНИП РК 2.03-30-2006).

Целью диссертационной работы является:

- анализ истории развития теории расчетов зданий и сооружений на сейсмические воздействия,
- изучение мер по повышению сейсмоизоляции зданий и сооружений в новом СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах,
- произведен анализ работы программных комплексов Ли́ра-САПР и STARK ES,
- выведение трансцендентных уравнений для расчета собственных частот и определения периода колебаний
- составлены алгоритмы расчетов стрижневых и пластинчатых элементов при разных условиях закреплений,
- разработка алгоритма автоматического определения сейсмических сил,
- проанализированы методы прямого интегрирования уравнений движения
- выполнение комплексных расчетов плоских моделей зданий в ПК «Ли́ра-САПР» и ПК «STARK» на действие проектного землетрясения (ПЗ)
- выполнение комплексных расчетов пространственных моделей зданий в ПК «Ли́ра-САПР» и ПК «STARK» на действие ПЗ и МРЗ

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- анализ результатов расчетов в ПК «Ли́ра-СА́ПР» и ПК «STARK» на действие сейсмической нагрузки по СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» на ПЗ и МРЗ

Теоретической и методологической основой исследования послужили методы теоретического и практического анализа зданий и сооружений на воздействие сейсмическим нагрузкам. В процессе работы над диссертацией изучены методы ученых послуживших основой для существующих в настоящее время программных комплексов по расчету и анализу зданий и сооружений. Наибольшее влияние на выполнение исследования оказали труды, А.А. Амосова, С.Б. Сеницына, Klaus-Jurgen Bathe, Edward L. Wilson'a, а также работы Ю.Н. Чудинова, Д.А. Лупповой, Н.С. Дронова.

Автор защищает: методику расчетов, обработки и анализа расчетов зданий и сооружений в сейсмоопасных районах на воздействие сейсмических сил с помощью выведенных алгоритмов трансцендентных уравнений в программном комплексе MathCAD для общего анализа стержневых и пластинчатых элементов, в программных комплексах Ли́ра-СА́ПР и STARK ES для комплексного расчета зданий на проектное землетрясение (ПЗ) и максимальное расчетное землетрясение (МРЗ), сравнение результатов от статических и квазистатических загрузений.

Научную новизну работы составляют: алгоритмы, методики расчетов сейсмических воздействий на здания и сооружения по новому действующему нормативному документу о проектировании и сейсмоизоляции - СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах в различных программных комплексах с учетом акселерограмм на действие проектного землетрясения (ПЗ) и максимального расчетного землетрясения (МРЗ) в нелинейной постановке с учетом синтезированных акселерограмм.

Практическая ценность: в работе рассматривается проблема, актуальная для всех организаций проектирующих здания в сейсмоопасных районах. При выполнении исследования применены новые технологии

											4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								

проектирования, в том числе частично - BIM- технологии. Частично освоена технология расчетов на МРЗ, которая стала обязательной к применению для широкого спектра зданий и сооружений в связи с применением нового СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах

Апробация работы и публикации

Основные положения диссертации опубликованы в двух научных статьях. Материалы диссертации доложены и обсуждены на:

- Международная научно-практическая конференция «Научные чтения, посвященные памяти профессор А.П. Сапожникова», г. Комсомольск-на-Амуре;

- Международная научно-практическая конференция «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения памяти профессора В.Б. Федосенко», г. Комсомольск-на-Амуре.

Настоящая работа выполнена в 2014-2016 годах на базе кафедры Строительство и архитектуры под руководством к.т.н., доцента Ю.Н. Чудинова.

Структура и объем работы

Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, списка литературы (36 источников). Основной текст изложен на 166 страницах, содержит 20 таблиц, 99 рисунков, 5 графиков и приложение А (для второй главы)

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, предмет и объект исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость, апробация результатов.

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В первой главе «История развития расчетов зданий и сооружений на сейсмические воздействия» были проанализированы новые правила нормативного документа по расчету зданий и сооружений на сейсмику СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах».

Существует три теории сейсмостойкости: статическая, динамическая и спектральная. Статическая теория основана на том, что колебательный процесс на поверхности земли вызываемый землетрясением, передается сооружению через основание. Следовательно, ускорения возникающие в сооружении должны быть такими же как и у его основания (рисунок 1)

$$S = am, \quad m = Q/g; \quad (1, 2)$$

где a – ускорение земной поверхности; m – масса сооружения, Q – вес конструктивного элемента сооружения; g – ускорение силы тяжести.

$$S = am = a \frac{Q}{g} = k_c Q \quad (3)$$

где $k_c = Q/g$ – коэффициент сейсмичности, характеризующий интенсивность землетрясения на строительной площадке. Таким образом, пользуясь вышеупомянутой формулой, можно легко определить максимальные инерционные силы или сейсмические нагрузки.

В 1920 году профессор Н. Монобе предложил рассмотреть реакцию системы с одной степенью свободы при колебаниях грунта, происходящих по гармоническому закону, без учета рассеивания энергии, то есть без затухания системы (рисунок 2).

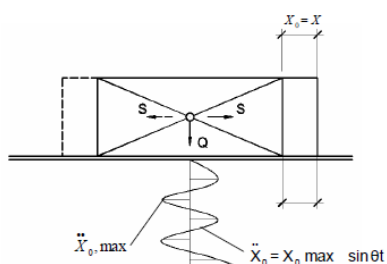


Рисунок 1 - Статическая модель

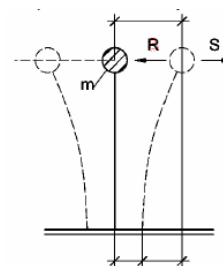


Рисунок 2 - Динамическая модель

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Метод Монообе имел прогрессивное значение для последующего развития теории сейсмостойкости сооружений. Но свободные колебания, накладываясь на вынужденные, тем самым усиливая эффект. В теории Монообе этот фактор не учитывался.

Дальнейшим этапом в истории развития теории сейсмостойкости явилась спектральная теория, представляющая собой существенное усовершенствование динамической теории за счет введения в обращение спектральных кривых, представляющих собой кривые, описывающие зависимости максимальных ускорений, скоростей или перемещений линейного осциллятора в функции периода его собственных колебаний. Позднее учеными были разработаны акселерограммы.

Для расчета моделей в данной работе были применены два программных комплекса - Лира-САПР и STARK ES, которые являются современными инструментами для численного исследования прочности и устойчивости конструкций и их автоматизированного проектирования. Данные продукты можно охарактеризовать как много функциональные программные комплексы, реализующие технологию информационного моделирования зданий, более известную как BIM - технологию и ориентированную для проектирования и расчета строительных и машиностроительных конструкций различного назначения.

Из перечисленных программных комплексов, STARK ES имеет возможность учитывать новые требования СП по части сейсмостойкости, таких как: эластомерные опоры, эластомерные опоры со свинцовыми сердечниками, опоры фрикционно-подвижного типа с плоскими горизонтальными поверхностями скольжения, опоры фрикционно-подвижного типа со сферическими поверхностями скольжения, маятниковые опоры.

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При применении вышеперечисленных опор достигается высокая вертикальная жесткость при эксплуатационных нагрузках, высокая горизонтальная жесткость при действии горизонтальных нагрузок низкого уровня, низкая горизонтальная жесткость при действии горизонтальных нагрузок высокого уровня, высокая способность к диссипации энергии.

Данные опоры способны выдерживать горизонтальные сдвиговые деформации величиной до 400%. Изготавливают некоторые из данных элементов из металлофторопласта в паре с нержавеющей сталью обладающие в таком случае низким порогом коэффициента трения скольжения.

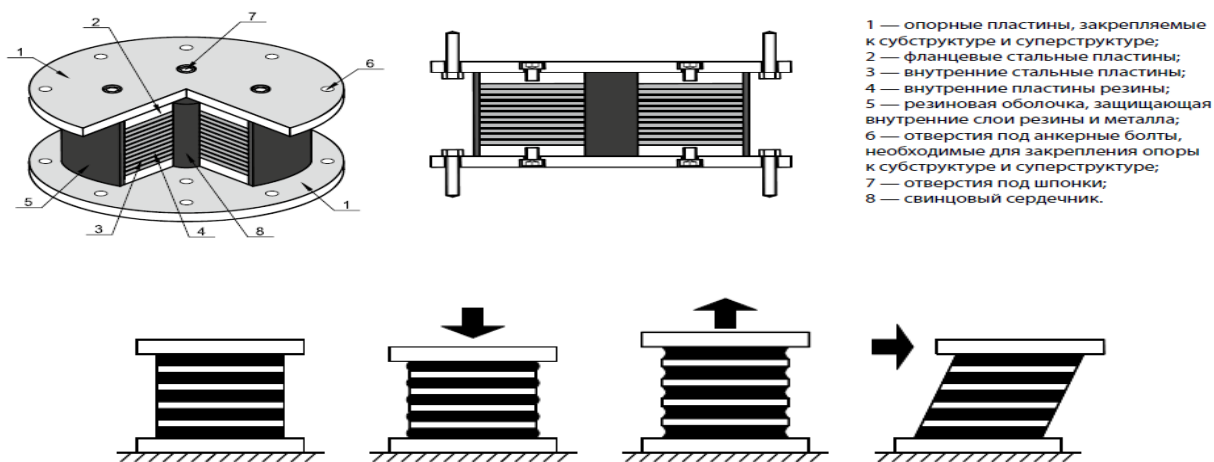


Рисунок 7 – Общий вид и схема поведения опоры

Во второй главе «Положения и расчеты зданий и сооружений» были рассмотрены основные положения по расчету зданий и сооружений на действие сейсмических нагрузок.

При определении расчетных сейсмических нагрузок на здания и сооружения следует принимать расчетные динамические модели конструкций (РДМ), согласованные с расчетными статическими моделями конструкций и учитывающие особенности распределения нагрузок, масс и жесткостей зданий и сооружений в плане и по высоте, а также пространственный характер деформирования конструкций при сейсмических воздействиях.

Массы (вес) нагрузок и элементов конструкций в РДМ допускается принимать сосредоточенными в узлах расчетных схем. При вычислении массы необходимо учитывать только нагрузки, создающие инерционные силы.

Для зданий и сооружений с простым конструктивно-планировочным решением для расчетной ситуации ПЗ расчетные сейсмические нагрузки допускается определять с использованием консольной расчетной динамической модели (рисунок 3). Для таких зданий и сооружений при расчетной ситуации МРЗ необходимо использовать пространственные расчетные динамические модели конструкций и учитывать пространственный характер сейсмических воздействий.

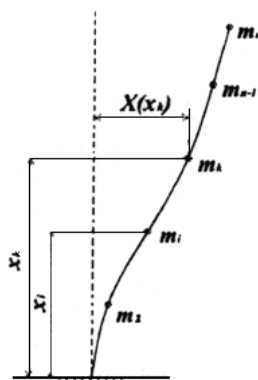


Рисунок 3 - Консольная расчетная модель

Во время исследования проблем сейсмостойкости относительного нового принятого нормативного документа были разработаны алгоритмы вычислений основных динамических характеристик стержневых и пластинчатых элементов при различных условиях закреплений в программном комплексе MathCAD.

Для консольного стержня было выведено следующее трансцендентное уравнение:

$$\omega_i = \frac{k_i^2}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{\rho \cdot A}} \quad (4)$$

где, w - частота, L - длина стержня, EJ - изгибная жесткость детали, ρ - плотность, A - площадь сечения.

Плиты с равномерно распределенной массой определяются по формуле:

$$\omega_i = \frac{(\lambda_i)^2}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{\mu_0}} \quad D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu_0^2)} \quad (5, 6)$$

где, E - модуль нормальной упругости в кг/м²; h - толщина плиты в м; ν_0 - коэффициент Пуассона; μ_0 - интенсивность равномерно распределенной массы (собственной и присоединенной) на единицу площади в кг·сек²/м³, L, B - размеры плиты в направлениях осей x и y

По ходу расчета были определены значения свободной частоты консольного стержня, которые в дальнейшем были сравнены с расчетом в ПК

Построив график зависимости частоты от количества конечных элементов в консольном стержне видим следующую картину (график 1)

На графике видна прямо пропорциональная зависимость частоты от количества конечных элементов в расчетной схеме консольного стержня - чем больше КЭ, тем более близким получится значение частоты в аналитическом решении к расчету в программных комплексах.

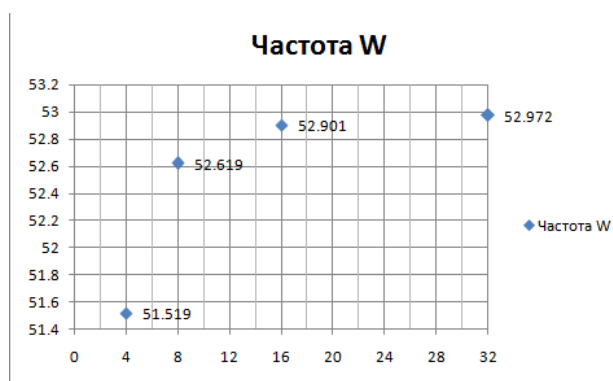


График 1 - График зависимости частоты от количества конечных элементов

Дальнейшим сравнением в ходе исследования были автоматизированные расчеты сейсмических сил по СНиПу и СП. Сейсмические силы приложенные в точках пересечения колонн и ригелей

рамы поэтажно суммируются. Было установлено что величина сейсмической силы при расчете по СП 14.13330.2014 значительно больше, чем по СНиП II-7-81*(таблицы 1 и 2)

Этаж	Величина сейсмической силы, кН		
	1 форма	2 форма	3 форма
5	-2.774	1.832	-1.494
4	-4.116	0.57	1.092
3	-3.118	-1.83	1.114
2	-1.856	-2.512	-1.164
1	-0.628	-1.244	-1.404

Этаж	Величина сейсмической силы, кН		
	1 форма	2 форма	3 форма
5	-4.154	2.75	-2.238
4	-6.2	0.852	1.636
3	-4.68	-2.742	1.67
2	-2.742	-3.68	-1.746
1	-0.942	-1.864	-2.106

Таблица 1 - расчет по СНиП II-7-81* Таблица 2 – расчет по СП 14.13330.2014

В третьей главе «Расчеты зданий и сооружений по СП 14.13330.2014» оговорены основные положения по приборам для инструментального измерения сейсмических колебаний. Для получения записей землетрясений необходима густая сеть инженерно-сейсмических станций, снабженных специальной аппаратурой для регистрации землетрясений. На данный момент существуют такие аппараты как : сейсмограф, велосигграф. и основной, которые применяется в ПК STARK ES - акселерограф - регистрирует ускорения, возникающие при колебаниях грунта (период маятника меньше периода колебаний грунта) Получаемую осциллограмму называют акселерограммой.

Один из основных принципов расчета зданий и сооружений называется расчетом на проектное землетрясение (ПЗ), такой расчет предполагает использование расчетных моделей соответствующих упругой области деформирования. Проектное землетрясение - это землетрясение со средней повторяемостью один раз в 500 лет.

Расчет соответствующий уровню ПЗ по сути своей состоит в том что бы получить основные формы колебаний и собственные радиальные частоты.

Для наглядности и с учетом норм были выполнены расчеты в двух комплексах: Лира-САПР и STARK ES. (расчетные схемы рисунки 4 и 5)

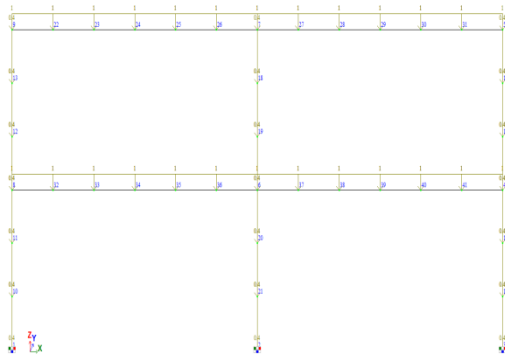


Рисунок 4 - Схема в Лира-САПР

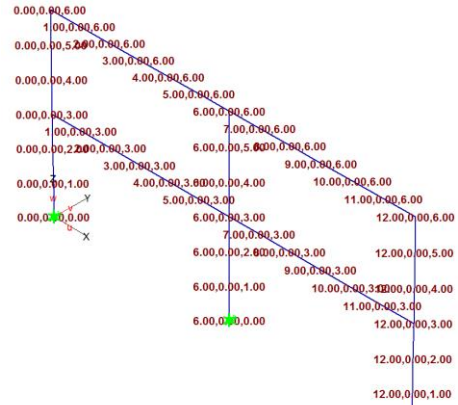


Рисунок 5 - схема в STARK ES

Для более точных результатов все несущие элементы в расчетной схеме необходимо разбить с определенным шагом, т.к если к примеру ригель будет не разбитым то эпюра моментов может быть не правдоподобной.

Следующим действием было присвоение расчетной схеме сейсмического нагружения. (рисунки 6 и 7)

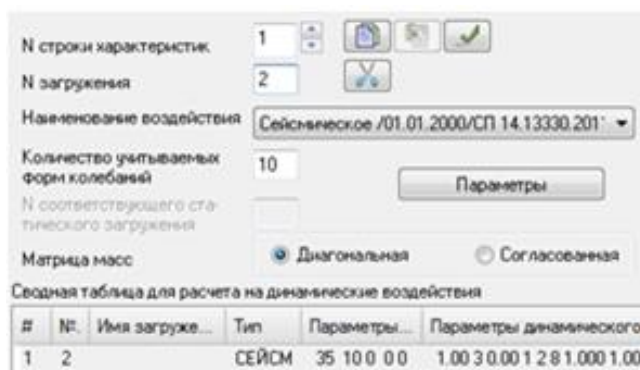


Рисунок 6 - Характеристики динамического воздействия

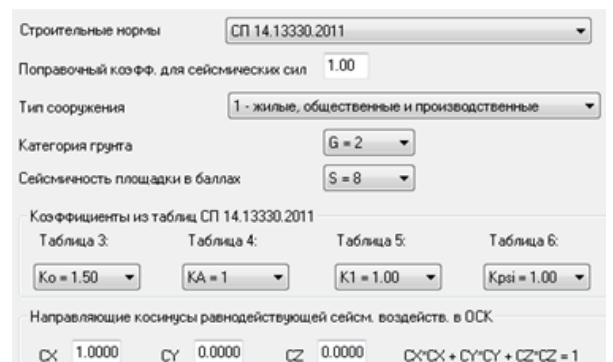


Рисунок 7 - Параметры сейсмического нагружения

По полученным значениям усилий в двух разных комплексах, можно сказать что - погрешностей нет. Совершив расчет на проектное землетрясение и сверив результаты видно следующее:

Частоты собственных колебаний					
№ загруз	№ форм	Собст. значения	Частоты		Период (с)
			Круг. частота (рад/с)	Частота (Гц)	
2	1	0.028	36.214	5.764	0.173
2	2	0.009	111.308	17.715	0.056
2	3	0.008	130.136	20.712	0.048

Таблица 3 - Значения основных характеристик при расчете на ПЗ в ПК Лира-САПР

Амплитуда	Номер формы и частота
<input checked="" type="checkbox"/> 1	f1 = 6.099
<input type="checkbox"/> 1	f2 = 9.226
<input type="checkbox"/> 1	f3 = 18.76

Таблица 4 - Значения основных характеристик при расчете на ПЗ
в ПК STARK ES

При расчете на сейсмические воздействия, две разных программы выдали значения основных характеристик, погрешность которых хоть и выражена но разница является не существенной.

Второй из основных принципов расчета зданий и сооружений называется МРЗ (максимальное расчетное землетрясение), такой расчет предполагает использование во временной области с применением инструментальных или синтезированных акселерограмм (зависимости ускорений от времени точки основания или сооружения в процессе землетрясения). В данной задаче главным является - методы прямого интегрирования для получения результатов. Проектное землетрясение - это землетрясение со средней повторяемостью один раз в 10000 лет.

Расчет соответствующий уровню МРЗ по сути своей состоит в том что бы получить основные формы колебаний и собственные радиальные частоты с применением синтезированных или реальных акселерограмм в нелинейной постановке задачи.

Последовательность расчетного обоснования конструктивного решения с учетом динамических воздействий:

1. Анализ собственных колебаний конструкции и установление наиболее опасных расчетных направлений и других параметров сейсмических воздействий;

2. Определение максимальных инерционных сил (квазистатических нагрузок) линейно - спектральным методом (в частной области) для расчетных схем сейсмического воздействия. Сейсмические нагрузки соответствуют уровню ПЗ (проектное землетрясение);

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Определение усилий в элементах конструкций при действии статических и квазистатических нагрузок;

4. Проектные расчеты (определение количества арматуры, размеров сечений, характеристик материалов) элементов конструкций с рассмотрением неблагоприятных сочетаний статических и квазистатических нагрузок;

5. Оценку и при необходимости, корректировку принятых конструктивных решений на основе динамического расчета на сейсмические нагрузки, соответствующие уровню МРЗ (максимальное расчетное землетрясение). Расчеты по п. 5.2.б, следует применять для зданий и сооружений, перечисленных в табл. 3 пункт 1-2 СП 14.13330.2014.

Усилия получаемые от сейсмических нагружений превышают свои статические показатели в несколько раз. Для устойчивости зданий и сооружений в таком случае подбирают сечения и материалы пока запас прочности не будет удовлетворят расчету.

Проверяем наш каркас на предмет прочности. Прочность элементов анализируется по усилиям, возникающих в них при каждой комбинации статических или квазистатических нагружений.

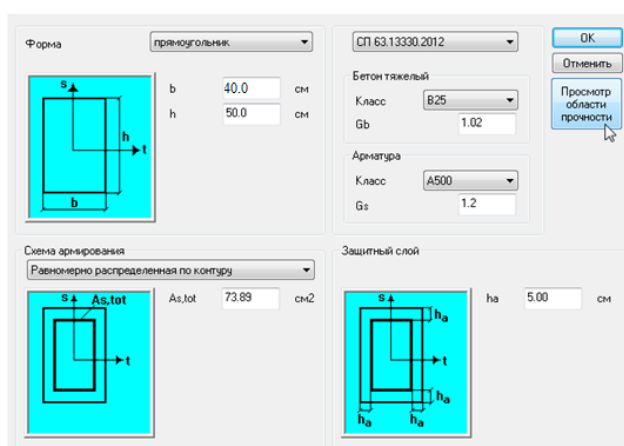


Рисунок 8 - Общие данные для расчета на прочность

Прочность элементов оценивается коэффициентом использования прочности K_u , который равен отношению нагрузочного эффекта к несущей способности элемента. Таким образом, при величине данного коэффициента

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

не более 1.0 прочность элемента считается обеспеченной, а превышение им значения 1.0 свидетельствует о недостатке прочности элемента.

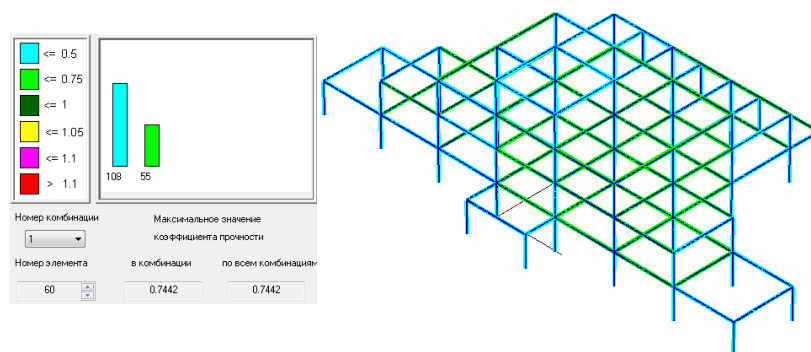


Рисунок 32 - Прочность элементов с подобранным сечением

Выводы по диссертации

1. При выполнении расчетов зданий и сооружений на сейсмические нагрузки следует использовать нормативные документы которые являются обязательными к применению. Касательно СНиП II-7-81* и СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмический районах, на обязательной основе согласно приказу министерства регионального развития Российской Федерации.

2. В работе рассмотрено два программных комплекса (Лира-САПР , STARK ES) подходящие для расчета простых и сложных зданий и сооружений на различных вид нагрузок, включая сейсмические и динамические

3. Использование сейсмоизолирующих элементов позволяет снизить и ограничивать реакцию сооружений на сейсмические воздействия.

4. Программные комплексы содержат большое количество конечных элементов для совместного взаимодействия здания с грунтом.

5. Изменение количества конечных элементов прямопропорционально значению частоты свободных колебаний а значению полученных аналитическим путем

6. При определении значений свободных колебаний при различных закреплениях схемы потребовалось разработать системы уравнений для аналитического расчета

7. В основе всех расчетов на сейсмические воздействия заложены основы методов прямого интегрирования

8. Программные комплексы «Ли́ра-САПР» и «STARK ES» применимы при расчетах по СП 14.13330.2014 на уровень проектного землетрясения (ПЗ) и максимального расчетного землетрясения (МРЗ)

9. Программный комплекс «STARK ES» позволяет совершать расчеты зданий и сооружений с учетом синтезированных и реальных акселерограмм

10. При определении формы и частот собственных колебаний зданий и сооружений тип решателя в STARK ES необходимо установить на фронтальный

11. После импорта акселерограмм в модуль «Одиссей», требуется произвести фильтрацию длин волн

12. Для более верного расчета необходимо использовать информацию о микросейсморайонировании и карты ОСР

13. Квазистатические нагрузки образованные сейсмическим нагружением на порядок увеличивают усилия в несущих элементах здания.

14 Программный комплекс «Ли́ра-САПР» вместе с «STARK ES» с использованием полных опытных диаграмм деформирования конструкций позволяет вести расчет в физически нелинейной постановке, как раз на котором построено выполнение условий расчета по МРЗ.

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Чудинов, Ю.Н. Расчет зданий и сооружений в сейсмоопасных районах по СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах»/ Ю.Н. Чудинов, Н.В. Курочкин// Международная научно-практическая конференция «Научные чтения, посвященные памяти профессора А.П. Сапожникова»./ Комсомольск-на-Амуре, 2014 г.

2. Чудинов, Ю.Н. Особенности расчета зданий и сооружений в сейсмоопасных районах по СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах» и СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах»/ Ю.Н. Чудинов, Н.В. Курочкин// Международная научно-практическая конференция «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения памяти профессора В.Б. Федосенко.»./ Комсомольск-на-Амуре, 2015 г.

					4ПСМ1.1.00.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		