УДК 504.05

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

♦♦♦♦♦

FEATURES OF DESIGNING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN SEISMIC AREAS

Хорошев Алексей Алексеевич
кандидат технических наук,
Кубанский государственный технологический университет
russ61@bk.ru

Прокопцова Наталия Сергеевна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
natali240703@mail.ru

Карапыш Анастасия Олеговна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
a.karapyshh@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматриваются ключевые принципы и методы проектирования железобетонных конструкций, расположенных в сейсмически активных регионах. Анализируются основные факторы сейсмического воздействия, требования современных нормативных документов (СП 14.13330.2018, СП 63.13330.2018) и стратегии обеспечения сейсмостойкости. Особое внимание уделяется концепции проектирования на основе несущей способности и энергорассеивания, требованиям к формированию пластических шарниров в предсказуемых зонах, а также деталям армирования, обеспечивающим пластичность и живучесть конструкций.

Ключевые слова: сейсмостойкость, железобетонные конструкции, проектирование, пластичность, сейсмическое воздействие, армирование, диссипация энергии, нормативные требования.

Khoroshev Alexey Alekseevich
Candidate of Technical Sciences,
Kuban State Technological University
russ61@bk.ru

Prokoptsova Natalia Sergeevna
Student,
Kuban State Technological University
natali240703@mail.ru

Karapysh Anastasia Olegovna
Student,
Kuban State Technological University
a.karapyshh@gmail.com

Annotation. This article examines the key principles and methods of designing reinforced concrete structures located in seismically active regions. The main factors of seismic impact, the requirements of modern regulatory documents (SP 14.13330.2018, SP 63.13330.2018), and strategies for ensuring seismic resistance are analyzed. Special attention is given to the design concept based on load-bearing capacity and energy dissipation, the requirements for forming plastic hinges in predictable zones, as well as reinforcement details that ensure the plasticity and resilience of structures.

Keywords: seismic resistance, reinforced concrete structures, design, plasticity, seismic impact, reinforcement, energy dissipation, regulatory requirements.

Сейсмические воздействия относятся к категории наиболее разрушительных природных явлений, представляющих серьезную угрозу для жизни людей и целостности инфраструктуры. Проектирование зданий и сооружений в сейсмически активных районах коренным образом отличается от проектирования в условиях статических или динамических нагрузок иного происхождения. Основная задача инженера в данном случае заключается не только в обеспечении прочности конструкции, но и в придании ей способности воспринимать повторяющиеся знакопеременные нагрузки без обрушения, поглощая и рассеивая значительную сумму энергии землетрясения. Железобетон, как композитный материал, сочетающий высокую прочность бетона на сжатие и пластичность арматуры на растяжение, обладает большим потенциалом для создания сейсмостойких конструкций. Однако реализация этого потенциала возможна только при грамотном и ответственном проектировании, учитывающем весь комплекс специфических требований.

Целью данной статьи является комплексный анализ специфических принципов, методов и нормативных требований к проектированию железобетонных конструкций, обеспечивающих их устойчивость и живучесть при сейсмических воздействиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Раскрыть физическую природу сейсмических воздействий и их влияние на поведение зданий.

2. Охарактеризовать основную концепцию сейсмостойкого проектирования – обеспечение пластичности и диссипации энергии.

3. Проанализировать требования к материалам (бетон и арматура) для сейсмических конструкций.

4. Рассмотреть особенности расчета и конструирования основных элементов: балок, колонн, узлов и стен.

5. Описать ключевые правила армирования, обеспечивающие необходимую пластичность и прочность элементов.

Природа сейсмических воздействий и основные принципы проектирования:

Сейсмическое воздействие представляет собой сложное, случайное, многокомпонентное и многократно повторяющееся колебание основания сооружения. Его нельзя свести к простой статической нагрузке. Нормы задают его через расчетные спектры реакции и акселерограммы, которые зависят от балльности района (сейсмичности), категории грунта, периода собственных колебаний сооружения и его демпфирования.

Основная философия современного сейсмостойкого проектирования (СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах») базируется на следующих принципах:

1. Прочность и устойчивость: конструкция должна выдерживать землетрясения расчетной интенсивности без дополнительных повреждений.

2. Пластичность и энергорассеивание: при сильных землетрясениях, превышающих расчетный уровень, допускаются остаточные деформации и повреждения, но не должно происходить обрушение. Конструкция должна поглощать энергию за счет неупругой деформации в специально предусмотренных зонах (пластических шарнирах).

3. Непрерывность нагрузки: обеспечение прямолинейного пути передачи нагрузок от точки приложения до фундамента.

4. Равнопрочность и равнопластичность: прочность колонн должна превышать прочность балок («сильная колонна – слабая балка»), чтобы гарантировать, что пластические шарниры образуются в балках, а не в колоннах, что предотвращает образование механизма этажного обрушения.

5. Пространственная работа и равномерное распределение жесткости: здание должно иметь симметричную и компактную в плане форму для избежания крутильных эффектов.

Требования к материалам:

Поведение железобетона при сейсмическом воздействии напрямую зависит от свойств его компонентов.

Бетон: Должен обладать не только высокой прочностью на сжатие, но и повышенной однородностью, трещиностойкостью и ударной вязкостью. Как правило, применяются классы не ниже В22,5. Важным требованием является ограничение прочности на сжатие для высоких классов (например, выше В60), так как высокопрочные бетоны часто имеют хрупкий характер разрушения.

Арматура: Ключевое требование – высокая пластичность. Арматура должна иметь четко выраженную физическую площадку текучести и высокое относительное удлинение при разрыве $\varepsilon > (14-16)\ \%$. Это необходимо для обеспечения работы пластических шарниров без хрупкого разрыва. Применяется арматура классов А400С, А500С, А600С (буква «С» означает свариваемость). Использование жесткой арматуры классов Ат800 и выше без достаточных обоснований не рекомендуется.

Особенности расчета и конструирования балок и колонн:

Балки: основная цель – обеспечить пластическое разрушение по изгибу, а не по срезу.

Для этого:

– Повышается прочность на поперечную силу по отношению к изгибающему моменту;

– В потенциальных зонах пластических шарниров (у опор) устанавливаются закрытые хомуты с уменьшенным шагом для обеспечения прочности бетона и предотвращения выпучивания продольной арматуры. Ограничивается ширина раскрытия трещин.

Колонны: являются критически важными элементами, их разрушение ведет к прогрессирующему обрушению.

– Соблюдается принцип «сильная колонна – слабая балка»: суммарная несущая способность колонн в узле должна превышать суммарную несущую способность примыкающих балок;

– Поперечное армирование в колоннах выполняется в виде спиралей или частых хомутов, что значительно повышает прочность на сжатие и пластичность бетонного ядра, препятствуя его боковому выпучиванию;

– Осевое усилие в колонне ограничивается (как правило, не более $0,7N_u$).

Конструирование сейсмических узлов и железобетонных стен:

Соединения (узлы) – самые уязвимые места каркаса. В них сходятся усилия от всех примыкающих элементов, и они подвергаются огромным сдвигающим усилиям. Армирование узла должно быть очень плотным и непрерывным: хомуты внутри узла должны быть такими же частыми, как и в примыкающих колоннах, чтобы обеспечить передачу усилий и предотвратить хрупкое сдвиговое разрушение. Железобетонные диафрагмы (стены) жесткости – эффективны для восприятия сейсмических сил благодаря своей высокой жесткости.

Конструирование стен включает:

– Создание пояса по контуру (ребра жесткости) для предотвращения потери устойчивости;

– Устройство конструктивных элементов (граничных элементов) по краям стены, особенно интенсивно армированных для восприятия больших сжимающих и растягивающих усилий;

– Двойное армирование по всей площади стены.

Грамотное армирование – ключ к обеспечению пластичности.

Качество арматуры определяет, сможет ли конструкция реализовать заложенную в расчете пластичность.

Основные правила:

– Анкеровка арматуры: осуществляется только на загибах (крюках) или с помощью анкерующих пластин для надежной работы в условиях знакопеременных нагрузок. Сварные соединения допускаются только для арматуры, специально предназначенной для сварки;

– Поперечное армирование (хомуты): обеспечивает совместную работу бетона и арматуры, препятствует потере устойчивости сжатых стержней и воспринимает поперечные силы. Шаг хомутов в пластических зонах принимается не более 1/2 высоты сечения элемента и не более 100–150 мм;

– Запрещается: использование стержней, работающих на растяжение в качестве рабочей арматуры, использование одиночных хомутов без надежного заведения, пропуск хомутов в критических зонах.

Таким образом проектирование железобетонных конструкций в сейсмических районах – это комплексная инженерная задача, выходящая далеко за рамки простого обеспечения прочности. Она требует от проектировщика глубокого понимания природы динамических воздействий и поведения материалов и конструкций за пределом упругости. Ключевым аспектом является обеспечение пластичности и способности конструкции рассеивать энергию за счет формирования контролируемых повреждений в предсказуемых местах. Достигается это через строгое соблюдение принципа «сильная колонна – слабая балка», применение материалов с повышенными пластическими характеристиками и, что крайне важно, через тщательное и грамотное армирование арматурных элементов. Пренебрежение любым из этих аспектов может свести на нет все расчетные усилия и привести к катастрофическим последствиям. Таким образом, сейсмостойкое проектирование – это синтез точного расчета, конструкторского мастерства и строгого соблюдения норм проектирования.

Литература

1. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
2. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СП 63.13330.2018).
4. Евстифеев В.Г. Железобетонные и каменные конструкции : в 2 ч. – Ч. 1: Железобетонные конструкции : учебник для вузов. – М. : Издательский центр «Академия», 2011.
5. Kauchma S. Design of Reinforced Concrete Structures for Earthquake Resistance / S. Kauchma, L. Smirnova, A. Sargsyan. – Springer, 2020.
6. Paulay T. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings / T. Paulay, M.J.N. Priestly. – John Wiley & Sons, 1992.

References

1. SP 14.13330.2018 Construction in Seismic Areas. Updated version of SNiP II-7-81*.
2. SP 63.13330.2018 Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003.
3. Design Guide for Concrete and Reinforced Concrete Structures Made of Heavy-Duty Concrete (to SP 63.13330.2018).
4. V.G. Evstifeev. Reinforced Concrete and Masonry Structures : in 2 parts. – Part 1: Reinforced Concrete Structures: a Textbook for Universities. – M. : Academy Publishing Center, 2011.
5. Kauchma S. Design of Reinforced Concrete Structures for Earthquake Resistance / S. Kauchma, L. Smirnova, A. Sargsyan. – Springer, 2020.
6. Paulay T. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings / T. Paulay, M.J.N. Priestly. – John Wiley & Sons, 1992.