

**РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ КОНСТРУКТИВНОЙ
СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ
«ФУНДАМЕНТ-ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ»**

Худобердин И. Р., Забродин С. М.

Научные руководители – профессор. Абовский Н. П.,

доцент Палагушкин В. И.,

Сибирский федеральный университет

Развитие и применение методов конструктивной сейсмобезопасности диктуется требованиями повышения безопасности (живучести) строений. В районах повышенной сейсмичности и сложных грунтовых условий целесообразно вместо приспособления традиционных конструкций развивать новые конструктивные решения, в первую очередь фундаменты и сейсмозащитные устройства, снижающие сейсмические воздействия. Необходимо развивать применение конструкций и методов конструктивной сейсмобезопасности, используя как новые, так и древнейшие подходы. К таким подходам и принципам относятся:

– рациональное пространственное формообразование цельной единой системы «фундамент-здание», в том числе многосвязанных замкнутых систем;

– разработка конструкций, малочувствительных к негативным сейсмическим воздействиям, в том числе пространственные фундаментные платформы (ПФП) на скользящем слое, расположенном между основанием и платформой;

– первоочередное использование таких сейсмозащитных устройств, которые снижают (или предотвращают) передачу энергии сейсмических колебаний на фундамент и систему в целом. Таким устройствам целесообразно отдавать предпочтение по сравнению с традиционной сейсмоизоляцией, которая снижает воздействие на отдельные части здания.

1. О классификации методов сейсмозащиты

Профессором А.М. Уздиным была предложена в 1993 году схема классификации сейсмозащиты, в которой не были предусмотрены способы внешнего снижения сейсмических воздействий и защитные устройства (экраны), в том числе малочувствительные конструкции, траншеи, фундаментные волногасящие платформы. Следует отметить, что в недавних обзорах и публикациях (в т.ч. в статье проф. В.И. Смирнова в журнале «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» №2, 2008) по современным способам сейсмоизоляции также не упоминаются данные способы, т. е. данное направление развития способов внешней сейсмозащиты путем снижения сейсмического воздействия на здания (сооружения) не выделено, хотя его эффективность может быть в значительно большей степени, чем традиционные подходы.

Отметим принципиальные отличия данного направления от традиционных сейсмоизоляционных и защитных устройств: есть такое понятие в конструировании, как энергетическая (силовая) проводимость, т. е. оценка непрерывности силового потока от места приложения нагрузки через элементы конструкции к опорам. По мере энергетической проводимости можно оценивать взаимодействие элементов между собой, выяснять «узкие» места, концентрацию усилий и т. п. Понимание состояния энергетической проводимости необходимо при создании (проектировании) конструкций и особенно важно для управления НДС конструкции. С этой позиции традиционная сейсмоизоляция и демпфирующие устройства, установленные между элементами конструкции (например, между фундаментом и верхним строением) нацелены на некоторое прерывание или рассеивание силового потока, который через фундамент поникает в другие части здания. Говоря образно языком военной стратегии, «врага» (внешнее воз-

действие) пропускают на свою внутреннюю территорию «в ловушку, а затем рассеивают или уничтожают». Другая стратегия: врага не допустить на территорию «фундамент-здание». Эта стратегия предлагаемого снижения сейсмического воздействия, т. е. создание устройства (например, скользящий слой или заградительная траншея), при которых мощная сейсмическая волна «проскальзывает» под фундаментом или обходит его стороной, не проникая внутрь системы «фундамент-здание». Примером может служить пространственная наземная фундаментная платформа на скользящем слое. Данная отличительная стратегия создает новые конструктивные преимущества для сейсмостойкого строительства. Они объясняются следующим образом: при традиционной сейсмозащите используемые внутри здания устройства для прерывания или рассеивания энергетического потока ослабляют цельность системы, разделяя одни части от других. Они являются как бы инородными включениями, которые при отсутствии сейсмике не нужны, других функций не выполняют и удорожают строительство. Например, установка демпферов или кинематических опор над фундаментом, или устройства гравийной подушки над свайным ростверком или скользящих поясов над фундаментом на металлических пластинах с упругими и жесткими демпферами – это традиционные примеры сейсмоизоляции, которые расчленяют систему на части и ослабляют ее. Применяемые современные демпфирующие устройства, как правило, являются неконструктивными, т. е. дополнительными элементами. Предлагаемые устройства, например ПФП на скользящем слое, являются частью системы, которая укрепляет цельность всей системы и выполняет ряд конструктивных и эксплуатационных функций как при наличии, так и отсутствии сейсмике. Можно сказать, что ПФП на скользящем слое представляет такое системное конструктивное решение, наделяющее систему свойствами, которые не имеют традиционные сейсмоизоляционные устройства.

Дополненная схема классификации приведена на рис. 1.

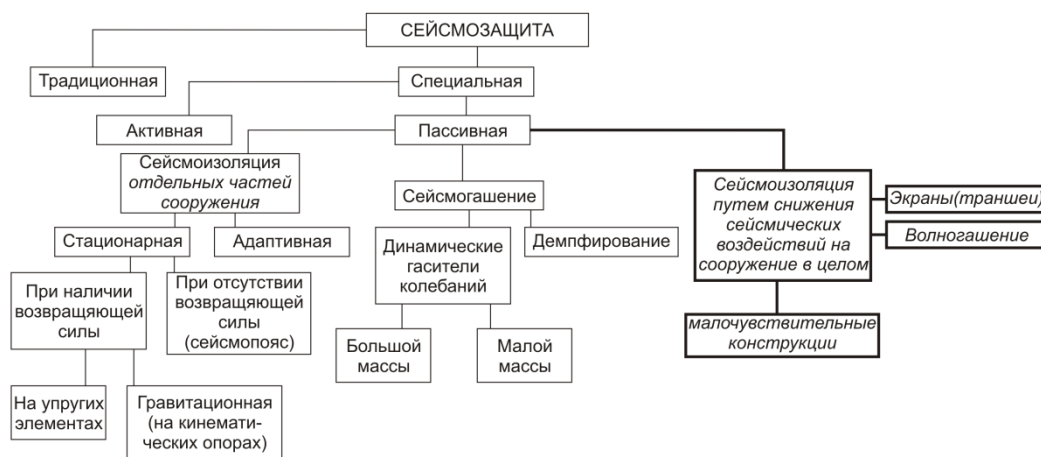


Рис. 1. Дополненная классификация систем сейсмозащиты по принципу их работы (курсивом выделены дополнения)

2. О роли связей между фундаментом и основанием и возможности использования этих связей как управляющих

В действующих нормативных документах принято, что сейсмическое ускорение фундаментов (и всего сооружения) и основания совпадает. Однако инструментальные данные свидетельствуют о том, что ускорение фундаментов может в несколько раз отличаться от ускорений грунтов основания. Это обстоятельство можно объяснить тем, что не вся энергия сейсмического возмущения от грунта основания передается на фундамент, т. е. передается некоторая часть возмущения из-за особенностей связей ме-

жду фундаментом и основанием. «Потеря» (утечка) части этой энергии может происходить по двум причинам:

- вследствие демпфирующего эффекта (естественного или искусственного инженерного) связей между фундаментом и основанием (в том числе из-за сейсмоизоляции);

- в результате «проскальзывания» горизонтальной сейсмической волны под фундаментом (при преодолении сил трения и специфики односторонних связей между фундаментом и основанием).

Отметим, что устройства демпфирования и сейсмоизоляции получили достаточное развитие. В то же время устройства для проскальзывания, в том числе путем регулирования и снижения трения, разработаны недостаточно, хотя современные успехи в создании новых материалов и технологий позволяют надеяться на прогресс в этой проблеме. На основе компьютерного моделирования [1] удалось показать, что устройство скользящего слоя (например, в виде нескольких слоев пленки) между фундаментной плитой и основанием приводит к снижению во много раз сейсмического воздействия на фундамент и верхнее строение.

Идея пространственных платформ с элементом проскальзывания имеет древнейшие исторические конструктивные корни во многих сооружениях, дошедших до наших дней. Можно надеяться, что конструкции проскальзывания получат современное конструктивное развитие и будут использованы в качестве управляющих параметров для повышения сейсмобезопасности зданий и сооружений.

3. Некоторые принципы и решения конструктивной сейсмобезопасности

С чего начинается конструктивная сейсмобезопасность? Прежде всего с пространственного формообразования системы и связи ее с окружающей средой (основанием), т. е. система, включающая верхнее строение вместе с фундаментом (будучи даже отделенной от основания) должна быть геометрически неизменяемой, многосвязной (чтобы обладать способностью перераспределения усилий при разрушении отдельных связей, т. е. чтобы локальные повреждения не вызывали глобального обрушения). Связи данной системы с основанием, – источники сейсмических воздействий, – не должны передавать (или уменьшать) негативные воздействия от основания на фундамент здания (сооружения). Такими негативными воздействиями и являются, **горизонтальные** (тангенциальные) смещения. В справедливости данной гипотезы авторы убедились на основе численного эксперимента моделирования. Отсюда следует ряд принципиальных конструктивных предложений.

Фундамент вместе с верхним строением должен представлять замкнутую многосвязную (коробчатую) систему. Разобщение, устройство между фундаментом и верхним строением упругих демпферов нежелательны. Создание зданий замкнутого типа, объединенных в одну цельную многосвязанную систему «фундамент - верхнее строение», например, коробчатого типа, способную воспринять сейсмические воздействия различного направления, что особенно важно при сложных грунтовых условиях, для неоднородных грунтовых площадок и др. Существенно снижается негативное воздействие несимметричных (в том числе крутильных) толчков, а также снимаются архитектурно-плановые ограничения, требующие проектирования симметричных конструкций. Значительной эксплуатационной надежностью обладают здания замкнутого типа с пространственной фундаментной платформой на скользящем слое: они не теряют свойство сейсмостойкости при повторяющихся сейсмических воздействиях.

Используя пространственное формообразование, устраивать фундамент в виде сплошной платформы (ПФП) достаточной жесткости при уменьшенном весе, а также совмещение конструктивных и эксплуатационных функций. ПФП имеют малую чувствительность к неравномерности осадок (просадок), большую распределительную спо-

способность, большую изгибную жесткость при относительно меньшем расходе материала, теплоизоляционные свойства, резервную емкость и др.

Между фундаментной плитой и основанием устраивать скользящий слой, минимизирующий передачу горизонтальных сейсмических смещений основания на фундаментную плиту, т. е. максимально снизить передачу сейсмических воздействий на фундамент (сейсмическая волна проскальзывает под фундаментной плитой, оставляя ее практически на месте).

Между торцевой частью фундамента (в случае его заглубления) и основанием предусматривать воздушный зазор (или упругую засыпку), чтобы уменьшить (исключить) лобовое (фронтальное) воздействие волны на фундамент.

В итоге достигается экономичность и надежность, о чем свидетельствует опыт проектирования и строительства в сложных грунтовых условиях в г. Красноярске. Отметим, что компьютерное моделирование платформ на скользящем слое показало снижение сейсмических воздействий во много раз. Таким образом, главной целью конструктивной сейсмобезопасности должно быть снижение сейсмического воздействия на систему (здание+фундамент), изолирование (демпфирование, перераспределение и т.п.) отдельных частей здания от передавшихся на систему сейсмических воздействий.

В монографии приведен ряд запатентованных разработок, в том числе зданий замкнутого типа с пространственной фундаментной платформой на скользящем слое, а также опыт строительства в сложных грунтовых условиях. Целесообразно её не допустить (или снизить) сейсмическое воздействие на систему, чем пропустить их и бороться с ними внутри самой системы.

Следует отметить, что традиционно методы и устройства сейсмоизоляции отдельных частей, например, верхнего строения от фундамента покрытия от стен и т. п.) получили многообразные решения. В то же время методы и устройства, снижающие сейсмическое воздействие на систему в целом, разработаны недостаточно. Действительно, в действующем СНиПе и многих публикациях даны полезные рекомендации по конструктивным решениям верхних строений из разных материалов, но практически полностью отсутствуют соображения (исследования) о влиянии типа фундамента и его связи с верхним строением на систему и тем более о приеме уменьшения сейсмического воздействия на систему. Это касается и применения пространственных фундаментных платформ. В то же время изучение опыта древнейших выдающихся строений, дошедших до наших дней, показывает их эффективность и надежность.