

Проблемы повышения сейсмостойкости зданий и сооружений в Красноярском крае

1. Состояние вопроса. Первые результаты геодинамического мониторинга.

1.1 Сейсмическая активность Красноярского региона

Основная масса населения, даже не обладая специальными знаниями, интуитивно верно определяет свою экологическую безопасность (**СЛАЙД 2**) как возможность дышать чистым воздухом, использовать чистую воду, ходить по чистым улицам, получать продукты без вредных для здоровья примесей, красителей и т.д.

Однако при этом не все осознают, что есть еще очень важная составляющая экологической безопасности, которая зримо проявляется только при экстремальных ситуациях: треснул фундамент, перекосялся дом, разорвался водовод, прорвало канализацию, образовались провалы на земле, «ползет» склон горы и т.д.

Все эти неприятности в значительной мере связаны с процессами, протекающими в геологической среде – геодинамическими процессами. Не надо быть профессиональным геологом, чтобы понимать, что от прочностных свойств горных пород под фундаментом (рыхлые породы, скальные породы, болотистые почвы, мерзлота и т.д.) зависит надежность и безопасность сооружения.

Для г. Красноярска и прилегающих территорий список известных достаточно сильных исторических землетрясений охватывает временной интервал порядка 200 лет. (**СЛАЙД 3**) Первым достоверным значительным по макросейсмике сейсмическим событием в г. Красноярске является землетрясение 11 июня 1858 года. Это землетрясение внесено в официальный каталог сильных землетрясений как 6–7-балльное сейсмическое событие.

В центральной части Алтае-Саянской складчатой области (АССО), являющейся составной частью Центрально-Азиатского сейсмического пояса, располагается южная и наиболее населенная территория Красноярского края. В центре Красноярской промышленной агломерации, кроме г. Красноярска – одного из крупнейших промышленных центров Сибири, расположены города Железногорск (с объектами Горно-химического комбината), Дивногорск (с Красноярской ГЭС). На территории агломерации проживает более 1,5 млн. чел. Сейсмической опасности здесь могут быть подвержены города Красноярск, Канск, Ачинск и другие, но наибольшую опасность последствиями землетрясений представляют подземные и надземные сооружения Горно-химического комбината, Красноярская ГЭС, а также Саяно-Шушенская ГЭС, расположенная на юге края.

(**СЛАЙД 4**) Большой общественный резонанс вызвали два землетрясения, очаговые зоны которых расположены на юге Красноярского края: Караганское землетрясение 27.10.2000 г., в 180 км на юго-восток от г. Красноярска, $M_S=5.5$, энергетический класс $K=13.6$; Синеборское землетрясение 25.01.03 г. в районе п. Шушенское $M_S=3.75$, энергетический класс $K=10.8$. Оба эти события создали интенсивность сотрясений в Красноярске, Канске, Ужуре, Железногорске от 3 до 4 баллов. В результате краевые власти озаботились проблемой сейсмобезопасности и создали региональную систему мониторинга сейсмических событий. Таким образом, была создана эффективная система мониторинга и прогноза сейсмических событий. Однако, сейсмобезопасность требует знания не только где, когда и какой силы произошло (произойдет) событие, но и оценку сейсмостойкости зданий и сооружений. Только в городе Красноярске более 300 тыс. м² жилого фонда находится в аварийном состоянии, т.е. при незначительных геодинамических подвижках грунта (не говоря уже о вероятных сейсмических событиях в 5-6 баллов) возможны массовые порывы коммуникаций, разрушение ветхих зданий. Поэтому, наряду с мониторингом и прогнозом геодинамических событий, необходима работа по обеспечению сейсмической

безопасности городской инфраструктуры, оценке сейсмодофицита зданий и сооружений и инженерному укреплению объектов, имеющих сейсмодофицит.

В Красноярском крае работы по инженерному укреплению сооружений, имеющих сейсмодофицит, вообще не выполнялись. В микрорайоне «Черемушки» из-за техногенного обводнения древнего оползня уже более 10 лет фиксируются деформации жилых 9 - этажных домов. По данным микросейсмораионирования, в микрорайоне «Черемушки» прогнозируется сотрясаемость до 7 баллов. Несмотря на это, инженерное укрепление жилого массива, имеющего явный сейсмодофицит, не выполняется.

Красноярск бурно развивается в социально-экономическом плане, в 2008 г. объем только жилищного строительства почти достиг 1000000 м². Проектируются и строятся крупные общественные центры – метрополитен, ледовый дворец, медицинский центр, торгово-развлекательные комплексы, современные больницы и школы. Начато проектирование нового центра –Красноярск-Сити. **(СЛАЙД 5)** В конце 2007 г. принята краевая экологическая программа, мэрия Красноярска проводит конкурс на разработку «Программы экологической безопасности г. Красноярска на 2009-2011 гг.». В краевой экологической программе на 2008-2010 гг. предусмотрены мероприятия по мониторингу сейсмической опасности, которые, однако, сводятся только к прогнозу сейсмических событий. За рамками упомянутой программы остались мероприятия по обеспечению геодинамической безопасности, что позволяет в условиях несовершенной нормативной базы федерального уровня вести строительство без должного учета реальной сотрясаемости при потенциальных землетрясениях. В этих условиях просто необходимо по опыту Кемеровской области ввести временные региональные нормативы сейсмостойкого строительства. Особенно остро проблема отсутствия нормативов может проявиться в Красноярске в ближайшие годы в связи с проектированием и сооружением уникальных высотных объектов (25 и более этажей) и сооружений типа метро. Неучет при проектировании и строительстве реальной сотрясаемости, которая может быть выше нормативной по СНиП (6 баллов) на 1-2 балла, приведет к серьезным последствиям в недалеком будущем (5-10 лет) в связи с ростом сейсмической активности в 100 км зоне г. Красноярска. **(СЛАЙД 6)** Сейсмическая безопасность должна рассматриваться как элемент экологической безопасности, и поэтому необходимо в обязательном порядке выполнять при проектировании уникальных сооружений дополнительные инженерно-геофизические изыскания – сейсмическое микрораионирование (СМР). Внедрить в практику градостроительства в г. Красноярске СМР вполне реально, т.к. имеются специализированные организации, способные выполнить этот вид исследований, а дополнительные затраты на 1 м² строительной площади на объекте в 100 квартир не превысят 30 руб. При средней стоимости 30000 руб./м² жилья удорожание не превысит – 0,1 %. При кадастровой оценке стоимости земли - одного из основных экономических ресурсов города - пока не учитываются геодинамические параметры (в частности, прогнозная сотрясаемость), хотя учет этого фактора при кадастровой оценке допускается действующими нормативными актами*. Как известно, удорожание сейсмостойкого строительства составляет от 10 до 30 % при повышении исходной сотрясаемости на 1-3 балла.

В целях создания благоприятного инвестиционного климата в строительной отрасли и недопущения роста стоимости строительства жилья, городским властям необходимо на этапе выделения площадок под строительство вводить дифференцированные коэффициенты в стоимость продаваемой (передаваемой в аренду) земли: участки с высокой ожидаемой сотрясаемостью должны стоить ниже, чем участки с нормативной сотрясаемостью 5-6 баллов.

* Примечание: приказ № П/0152 от 29.06.2007 Федерального агентства кадастра объектов недвижимости

(СЛАЙД 7) Для решения задач обеспечения сейсмической безопасности путем интеграции знаний и специалистов сейсмологии, инженерной геологии, геофизики, математического моделирования и строительных наук СФУ и Красноярский научный центр СО РАН организовали научный инженерный центр геодинамики и сейсмостойкого строительства (НИЦГСС) в Красноярске.

1.2 Оценка потенциальной сейсмической опасности территории г. Красноярска и его окрестностей в соответствии с геодинамическими факторами

(СЛАЙД 8) Изучение геологической среды территории г. Красноярска с позиции геодинамики для уточнения сейсмической опасности ранее не проводилось. С целью учета влияния грунтовых условий на сейсмичность в 2008 году СФУ совместно с НИЦГСС провели работу по уточнению сотрясаемости и разработали схему сейсмического районирования территории г. Красноярска. Для построения схемы использовалась методика определения сотрясаемости ИЗК СО РАН, апробированная при построении карты сейсмического микрорайонирования для территории г. Иркутска, а также математическое моделирование сотрясаемости на основе применения программы (Nonlinear Earthquake Response Analysis - NERA) и инженерно-геофизические исследования для уточнения влияния грунтов на исходную сейсмичность территории. Результаты в виде схемы сейсмического районирования территории г. Красноярска представлены на **рисунке 1**.

В свою очередь опрос населения о макроэффектах последнего ощутимого землетрясения, произошедшего 24 марта 2009 г. в 150 км от города, подтверждает результаты исследований. По результатам оценки геодинамических факторов на территории г. Красноярска выделено четыре зоны с различной вероятной интенсивностью сотрясаемости: 6; 6,5; 7; 7,5 баллов. Город Красноярск и прилегающая территория относительно оценки сотрясаемости ОСР-97-А имеет в 70% приращение балльности от 0 до 0,5, и 30% от 1,0 до 1,5. Таким образом, около 30 % площади города находятся в 7-7,5 балльной зоне сотрясаемости при нормативной 6 баллов.

Зоны с самой высокой интенсивностью сотрясаемости в 7,5 баллов вытянуты вдоль береговой линии преимущественно на левом берегу р. Енисей в Центральном и Советском районах. Они приурочены к подмываемому берегу, осложненному развитием эрозионно-просадочных процессов и сложенному мощными лессовидными отложениями. Лесс, легкая песчанистая глина, глинистый грунт относятся к III категории грунтов по сейсмическим воздействиям (СНиП-II-07-81*, табл.1), эти породы значительно увеличивают интенсивность сотрясаемости земной поверхности при землетрясениях.

Семибалльные зоны сотрясаемости характеризуются преобладанием в разрезе рыхлых аллювиально-делювиальных четвертичных отложений, подверженных просадочным явлениям при техногенном затоплении, широко распространенном на территории промышленного города. К таким зонам отнесены отдельные площади преимущественно в Советском районе, отмечаются аналогичные неблагоприятные факторы, способствующие усилению сотрясаемости в Северо-Западном, Центральном, Ленинском районах города.

Зоны со значением 6,5 баллов занимают большую часть территории г. Красноярска. Для них характерно преобладание в разрезе непросадочной толщи грунтов, представленной галечниками или элювиальными отложениями, образованными в результате выветривания коренных пород. Осложняет данный разрез уклон поверхности рельефа, способствующий развитию плоскостного смыва и овражно-балочной сети, что значительно снижает крепость пород. С увеличением уклона изменяется динамическая устойчивость пород в разрезе и повышается

вероятность их смещений при воздействии сейсмических колебаний, что и учтено при экспертной оценке.

Относительно устойчивые, 6-ти балльные зоны интенсивности сотрясаемости на территории города практически не распространены. Они приурочены к окрестностям города, на удалении от рыхлых речных отложений и техногенного подтопления, занимают отдельные поверхности пологих водоразделов. Разрез отложений здесь представлен в различной степени выветрелыми коренными породами средней крепости.

Очевидно, что существующая нормативная карта ОСР-97 масштаба 1 : 8 000 000 на территорию России, на основании которой строители должны устанавливать категории грунтов по сейсмическим воздействиям, не способна обеспечить необходимую детальность при городской застройке.

1.3 Устранить противоречия между действующими федеральными документами

(СЛАЙД 9) До настоящего времени в Красноярском крае не проводились работы по сейсмическому микрорайонированию, а существующая нормативная карта ОСР-97 не обеспечивает детальность сейсмической опасности территории и дает весьма усредненные и зачастую заниженные оценки. Проведенный первый этап работ по сейсмическому районированию города выявил неравномерность и зоны повышенной на 1-1,5 балла сейсмической опасности. В свою очередь существующие федеральные документы на практике создают препятствие для проведения работ по сейсмическому микрорайонированию. Таким серьезным препятствием для проведения СМР является проявившееся противоречие между двумя действующими федеральными документами: СНиП II-7-81* пункт 1.4, в котором имеет место допущение использовать среднее значение интенсивности сейсмических воздействий на основе комплекта карт ОСР-97 и действующей ФЦП «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009 - 2013 годы» (постановление №265 от 23.04.2009 г.), нацеленной на снижение несейсмостойких зданий и сооружений. В Крае отсутствуют уточненные оценки сейсмических нагрузок на основе сейсмического микрорайонирования. Региональная власть не может отменить или ужесточить требование СНиПа II-7-81* при проектировании и строительстве, а также при определении сейсмодофицита существующих зданий. Пользуясь этим, строительные и хозяйственные организации идут по пути наименьшего сопротивления и используют указанные допущения СНиПа II-7-81* и не проводят работ по сейсмическому микрорайонированию. Это приводит к росту объемов несейсмостойкого строительства и неточности в определении сейсмодофицита для новых и старых строений.

2. Разработка вариантов конструктивной сейсмобезопасности для снижения сейсмических воздействий на систему в целом «фундамент-верхнее строение»

2.1 О классификации методов сейсмозащиты (СЛАЙД 10)

Профессором Уздиным А.М. была предложена в 1993 году схема классификации сейсмозащиты, но в ней не 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 и обделено вниманием, хотя его эффективность может быть в значительно большей степени, чем традиционные подходы.

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 воздействие) 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 и новые конструктивные преимущества для сейсмостойкого строительства. Принципиально они объясняются следующим: 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 и т.п. над фундаментом, или устройство гравийной подушки над свайным ростверком или скользящие пояса 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.

Схема классификации приведена на **рисунке 2**.

2.2 О роли связей между фундаментом и основанием и возможности использования этих связей как управляющих (СЛАЙД 11)

В действующих нормативных документах принято, что сейсмическое ускорение фундаментов (и всего сооружения) и основания совпадает. Однако инструментальные данные свидетельствуют, что ускорение фундаментов могут 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 между фундаментом и основанием. «Потеря» (утечка) части этой энергии может происходить по двум причинам:

- из-за демпфирующего эффекта (естественного или искусственного инженерного) связей между фундаментом и основанием (в том числе из-за сейсмоизоляции);
- из-за «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. Удалось показать на основе компьютерного моделирования, 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.

2.3 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 (так, чтобы обладать способностью перераспределения усилий при разрушении отдельных связей, т.е. чтобы локальные повреждения не вызывали глобального обрушения). Связи данной системы с основанием, т.е. источники сейсмических воздействий, не должны передавать (или уменьшать) негативные воздействия от основания на фундамент здания (сооружения). Таким негативным воздействием являются, главным образом (по мнению докладчика) **горизонтальные** (тангенциальные) смещения. (В справедливости данной гипотезы авторы убедились на основе численного эксперимента моделирования). Отсюда следует ряд принципиальных конструктивных предложений: **(СЛАЙД 12)**

- фундамент вместе с верхним строением должен представлять замкнутую многосвязную (коробчатую) систему. Разобшение, устройство между фундаментом и верхним строением упругих демпферов, нежелательно. 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. Важной 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), большая распределительная способность, большая изгибная 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. Таким образом, главной целью конструктивной сейсмобезопасности должны быть решения по снижению сейсмического воздействия на систему (здание+фундамент), а затем по изолированию (демпфирование, перераспределение и т.п.) отдельных частей здания от передавшихся на систему сейсмических воздействий.

Профессором, д.т.н., Абовским Н.М. (СФУ) **(СЛАЙД 13, 14, 15)** предлагается ряд запатентованных разработок, в том числе зданий замкнутого типа с пространственной фундаментной платформой на скользящем слое (см. рисунок 3-9).

Целесообразно, по идее, не допустить (или снизить) сейсмическое воздействие на систему, чем пропустить их и бороться с ними внутри самой системы.

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 как система и тем более приема 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.

Например:

(СЛАЙД 16) 1. «Самая большая в мире пирамида была возведена тольтеками в г. Чолуле (Мексика), она имеет в основании размер 300х300 м, высота 77 м. Внутри ее находятся еще три пирамиды. Каждая последующая пирамида получалась как надстройка над предыдущей, которая засыпалась землей, камнями, глиной и облицовывалась камнем. В результате получалось, что огромный массив-гора был армирован несколькими слоями каменной кладки. Названная гигантская пирамида в Чолуле служила платформой под святилище Кецалькоатля. По механическим свойствам их можно назвать мягкими. Мягкая платформа служит сейсмоизолятором подобно глиняным подушкам, распространенных в Средней Азии.

(СЛАЙД 16) 2. «Еще одно антисейсмическое мероприятие, которое применялось уже тогда – это строительство монументальных сооружений (храмов, дворцов) на огромных заглубленных платформах. Такие сооружения на платформах возводились во многих древних государствах от Китая, Персии, Египта до Мексики. Зиккурат в городе Ур, построенный в конце III тыс. до н.э., стоит на громадной прямоугольной платформе размером 43х65 м и высотой 15 м над поверхностью земли.

«Конструкция этого храма была такой же, как конструкция стен: сердечник из сырцового кирпича на битумном растворе, облицованный обожженным кирпичом. По сути дела, это была искусственная гора. Необходимо обратить внимание на идеальную форму этой горы с точки зрения сейсмики: равномерное и симметричное расположение масс и пониженное расположение центра тяжести всего сооружения.

Работает платформа в условиях сейсмического воздействия следующим образом. Размеры поверхностной сейсмической волны соизмеримы с размерами платформы, и задача большеразмерной жесткой платформы сгладить эту волну. На сооружение, защищенное такой платформой, передается осредненное без резких пиков сейсмическое движение грунта.

Таким образом, примеры древнейших конструкций показывают, что с позиции обеспечения сейсмостойкости сооружения платформы должны обладать достаточной жесткостью, иметь большие размеры в плане (соразмеримые с длиной сейсмической волны, говоря современным языком), а с другой стороны - играть роль «подушки», демпфирующей и смягчающей сейсмическое воздействие. Платформы располагались на поверхности, а под ними устраивался скользящий слой. В древнейших конструкциях известно использование в качестве тонкого скользящего слоя под платформой гончарной (влажной) глины, которая способна сохранять влажность и имеет низкий коэффициент трения.

Следует отметить, что запатентованные современные железобетонные и сталежелезобетонные пространственные фундаментные платформы на скользящем слое имеют, конечно, существенные конструктивные отличия и связи с верхним строением. Но существует идейная функциональная связь с древнейшими прототипами. Исторический опыт и искусство древних строителей нельзя забывать.

(СЛАЙД 16) В настоящее время, уникальным выдающимся примером реализации идеи ПФП на скользящем слое является устройство опор гигантского вантового моста в Греции через пролив, где проходит тектонический разрыв пластов. На глубине более 60 м на слабом грунте сделана достаточно большая подсыпка гравия, выполняющая роль скользящего слоя, на которую уложена железобетонная пространственная платформа размером с футбольное поле. Такая платформа на скользящем слое служит фундаментом под огромный пилон вантового моста.

Таким путем решена конструктивная сейсмобезопасность современного уникального моста. Разработчики конструкции утверждают, что даже при сейсмическом смещении платформы на метр мост не пострадает.

2.4. Оценка эффективности сейсмоизоляции в виде скользящего слоя между пространственной фундаментной платформой (ПФП) и основанием

Расчетная схема «здание-пространственная фундаментная платформа» на скользящем слое представляет достаточно сложную нелинейную модель из-за учета трения и возможных кинематических перемещений (в результате преодоления трения).

Для определения результирующего сейсмоизолирующего эффекта можно рассмотреть стадию работы, когда трение преодолено. При этом можно использовать вспомогательную схему, в которой удалены или существенно ослаблены горизонтальные (тангенциальные) связи между ПФП и основанием, т.е. существенными остаются только вертикальные (нормальные) связи. Такой подход моделирует состояние скользящего слоя, когда трение преодолено. Реализовать такую модель можно, например, с помощью вертикальных стержней в узлах конечно-элементной сетки, которые имеют весьма большую продольную жесткость и ничтожно малую изгибную жесткость, т.е. обеспечивается передача нормальных усилий при незначительном сопротивлении сдвигу (проскальзыванию). Таким путем будет реализована основная идея скользящего слоя: горизонтальные смещения основания не будут передаваться на ПФП и верхнее строение.

Исследования проводились для модели 5-ти этажного каркасного здания, расчетная схема которого принималась в виде квадратной в плане пространственной рамы с узловыми сосредоточенными массами (сечение колонн 0,4x0,4м², ригелей 0,6x0,3м²; материал - бетон $E = 3,25 \cdot 10^4$ Мпа, $\mu = 0,2$), расположенной на сплошной фундаментной плите размером 16x16x0,5м³ (рис.13) **(СЛАЙД 17)**.

Расчеты пространственной рамы на горизонтальную вибрационную нагрузку $P(t) = P_0 \cdot \sin(\theta t)$, приложенную в узлах верхнего слоя грунтового основания (узловая масса $m = 20$ т, $P_0 = 294$ кН, $\theta = 20$ рад/с) выполнялись по ПК SCAD Office с учетом упругих свойств грунтового основания по пространственной модели упругого невесомого полупространства. Грунт III категории ($E = 11$ Мпа, $\mu = 0,3$) представлен пространственным массивом $50 \times 50 \times 26$ м³. Используются объемные конечные элементы. Нижняя плоскость массива грунта закреплена неподвижно.

Рассматривались две модели скользящего слоя. В первой - скользящий слой моделировался вертикальными металлическими стерженьками (длиной 0,1 м, квадратного сечения $0,05 \times 0,05$ м²), шарнирно соединенными с фундаментной плитой и грунтовым основанием с исключением горизонтальных связей между фундаментной плитой и основанием. При этом в угловых точках фундаментной плиты для обеспечения геометрической неизменяемости были наложены не растягивающиеся горизонтальные связи. Во второй модели скользящий слой моделировался стержневыми элементами (длиной 0,5 м, с практически нулевой изгибной жесткостью – $EJ = 0,098$ кН·м²), жестко соединенными в узлах конечно-элементной сетки с фундаментной плитой и основанием.

Как видно из результатов расчетов, представленных в виде эпюр изгибающих моментов на рис.14, **(СЛАЙД 18)** обе модели скользящего слоя дают хороший сейсмоизолирующий эффект. Так, для 1-ой модели скользящего слоя наибольшие изгибающие моменты в колоннах и ригелях рамы получились равными 10,23 и 12,09 кН·м (рис.14, б); для 2-ой модели скользящего слоя – 9,53 и 12,97 кН·м (рис.14, в), что в среднем в 40 раз меньше, чем для рамы на ПФП без скользящего слоя (рис.14, а).

Следует отметить, что для 1-ой модели скользящего слоя горизонтальные перемещения фундаментной плиты, с расположенной ней рамой получились практически нулевыми (0,003 мм) по сравнению с перемещениями верхнего слоя грунта (10 мм), а для 2-ой модели скользящего слоя равны 0,3 мм. То есть, при сейсмическом воздействии плита, особенно для 1-ой модели скользящего слоя, практически не перемещается в горизонтальном направлении по сравнению с точками грунтового основания.

При этом горизонтальное перемещение верха здания для рамы на сплошной фундаментной плите составило 36,6 мм, а для рамы на плите со скользящим слоем 0,11 и 0,6 мм, соответственно для первой и второй моделей скользящего слоя.

Полученные результаты показывают, что скользящий слой между ПФП, соединенной с верхним строением и грунтовым основанием, существенно снижает усилия в верхнем строении. Отметим, что устройство скользящего слоя хорошо сочетается с фундаментами в виде сплошной плиты (ПФП), позволяющей строить здания и сооружения на слабых грунтах

Выполненные аналогичные расчеты при других частотах динамического воздействия подтверждают эффективность применения сейсмоизолирующего слоя, причем для строительства не только на слабых грунтах (III категории), но и на других грунтах.

Следовало бы отметить, что нецелесообразно расчленять сейсмоизолирующее здание (вместе с фундаментом) на части, создавая тем самым условия для взаимного смещения этих частей. Такая сейсмоизоляция ослабляет здание. Это существенный недостаток традиционной сейсмоизоляции. Целесообразно строить «здания замкнутого типа», создавая сейсмоизоляцию (скользящий слой) между фундаментной плитой и основанием. Тогда возможны только смещения здания с фундаментом как цельной системы по отношению к основанию. При этом существенно снижаются усилия в верхнем строении при больших динамических воздействиях на основание.

2.5. Применение защитных (экранных) устройств (например, траншей определенной глубины с «мягким» заполнителем или без него) вокруг ПФП в виде одного или нескольких рядов снижает передачу воздействия на ПФП и здание в целом

Как определил компьютерный эксперимент, траншею целесообразно располагать вблизи монолитной фундаментной платформы (плиты) на расстоянии 1-2 м. Эффект защиты сооружения от динамического, вибрационного либо сейсмического воздействия проявляется тем больше, чем глубже траншея. Рациональная глубина траншеи примерно равна или больше половины ширины защищаемого (экранируемого) здания или сооружения. При этом ширина траншеи не играет существенной роли, траншея может быть узкой (порядка 0,5 м), прямоугольной, трапециевидной или ступенчатой.

Исследования проводились для модели 3-х этажного здания, расчетная схема которого принималась в виде (**СЛАЙД 19**): а) консольного стержня с тремя сосредоточенными массами (рис. 15, а) рамы с соответствующими массами (см. рис. 15, б). Жесткостные параметры в обеих расчетных схемах соответствуют жесткостным параметрам сооружения. Материал – бетон В30. Возмущающее воздействие представляет собой гармоническую нагрузку с амплитудой $P = 100$ т и частотой $\theta = 40$ рад/с (6,37 гц), действующую горизонтально вдоль поверхности грунта. Длина волны λ составляет 13,64 м. Задача решается в плоской постановке. Грунт III категории моделируется упругой полуплоскостью. Массив полуплоскости - $50 \times 100 \times 1$ м³, длина фундаментной плиты 14 м

Для расчетной схемы (рис. 15, а), когда траншея глубиной 6 м (чуть меньше половины пролета плиты) и шириной 1 м расположена на расстоянии 1 м от фундамента, максимальный изгибающий момент в строении уменьшается на 28 %. Дальнейшее углубление траншеи повышает эффект (углубление на 1 м приводит к уменьшению максимального изгибающего момента в среднем на 7 %). Минимальная частота собственных колебаний уменьшается на 7,3 %.

Для расчетной схемы (рис. 15, б) эффект от аналогичной траншеи следующий: тангенциальные смещения опор, тангенциальные амплитудные значения масс и изгибающие моменты в раме уменьшаются на 34-35 %.

Для грунта II категории (схема - рис. 15, а) эффект влияния траншеи (рва) как защитного сооружения возрастает. Значения максимального изгибающего момента уменьшаются при наличии рва на 36,8 % (в 1,32 раза больше, чем для грунтов III категории), минимальная частота собственных колебаний также уменьшается.

Количество траншей существенной роли не играет (положительный эффект от второй траншеи не превышает 5 %).

2.6. Комплексное использование сейсмоизолирующих, демпфирующих и защитных устройств совместно со зданиями замкнутого типа на ПФП

Это наглядно демонстрирует следующая серия примеров (**СЛАЙД 20**). Для 5-ти этажного каркасного здания, расчетная схема которого (рис. 16) принималась в виде плоской рамы (длина пролета 6 м, высота этажа 4 м, сечение колонн 0.4×0.4 м², сечение ригелей 0.6×0.3 м², материал- бетон В30, грунт III категории) были выполнены три варианта расчета: а) на сваях (высота – 6 м, сечение - 0.4×0.4 м²), б) на фундаментной плите (длина – 14 м, сечение – 2×0.5 м), в) на фундаментной плите с защитным

устройством в виде траншеи (глубина 6 м, ширина 1 м) на расстоянии 1 м от фундамента.

В табл. 1 (**СЛАЙД 21, 22, 23**). приведены тангенциальные смещения масс рамы, опор (мм), изгибающие моменты (т·м) и минимальные частоты собственных колебаний в раме при разных фундаментах и с использованием траншеи.

Как видно из табл. 1, общая фундаментная плита по сравнению с отдельными фундаментами-сваями позволяет уменьшить тангенциальные смещения масс рамы и максимальные изгибающие моменты (т·м) – на 27-28 % и снизить минимальную частоту собственных колебаний в раме. Использование общей фундаментной плиты с защитным устройством в виде траншеи дает еще больший эффект. Общий эффект от совместного использования общей фундаментной плиты с защитным устройством в виде траншеи (по сравнению с отдельными свайными фундаментами) составляет по тангенциальным смещениям масс и опор, изгибающим моментам 50 % и дает уменьшение минимальной частоты собственных колебаний на 12 %.

Таким образом, комплексное использование указанных выше сейсмоизолирующих, демпфирующих и защитных устройств совместно со зданиями замкнутого типа на ПФП может существенно улучшить напряженное состояние здания и повысить его сейсмостойкость при наилучшем подборе их характеристик. Необходимо учитывать, что каждое из устройств имеет свою эффективную зону работы, а их совокупность создает обширную область эффективного использования.

3. Опыт проектирования и строительства в сложных грунтовых условиях на примере Красноярского края.

3.1. Административно-бытовой корпус (АБК) и склад строительной техники на бывшей многолетней свалке в нынешней черте города (рис. 17) (СЛАЙД 24).

Принято решение об устройстве наземного незаглубленного фундамента в виде сплошной выступающей за габариты здания пространственной железобетонной платформы достаточно легкой, но обладающей большой изгибной пространственной жесткостью в виде верхней и нижней плит, скрепленных ребрами.

3.2. Склад строительной техники (СЛАЙД 25) представляет собой одноэтажное здание размером 51x12 м (рис. 18). ПФП склада строительной техники и ее армирование полностью аналогична описанной выше ПФП для АБК. Жесткость здания обеспечивается продольными и поперечными ребрами фундамента и совместной работой нижнего пояса стен на участках по крайним осям с ПФП. Построенные здания успешно эксплуатируются уже более двух лет.

3.3. Трансформаторная подстанция в пределах пойменной террасы р. Качи (СЛАЙД 26). Здание одноэтажное с кирпичными стенами ограждения и с железобетонными перекрытиями (рис. 19). В полах подстанции имеются заглубленные

каналы и проемы для размещения оборудования подстанций, кабелей и аварийного слива трансформаторного масла.

Было принято решение о применении пространственной наземной платформы с закрытыми бортами, надежно защищающими образованное «корыто» от затопления. Пространство между ребрами внутри платформы можно использовать для технологических нужд, т.е. несущие и защитные свойства платформы совмещены с технологическими.

Получена достаточно простая, надежная и эффективна конструкция, которая уже выдержала испытания в течение весеннего и осеннего паводков.

3.4. Гараж-стоянка (СЛАЙД 27) размерами 48x20 м (рис. 20) построен в условиях аналогичных для трансформаторной подстанции. Конструкция здания совместно с ПФП образует в целом замкнутую многосвязную пространственную систему.

ВЫВОДЫ по докладу:

-по первой главе: (СЛАЙД 28)

- 1.) Противоречивость СНиП П-7-81* приводит к росту объемов несейсмостойкого строительства;
- 2.) Инициативная работа (НИЦГиСС) впервые в г. Красноярске выявила, что более 30% территории города находится в зонах с сотрясаемостью 7-7,5 баллов по шкале MSK-64;
- 3.) Генеральный план города Красноярска не имеет карты инженерно-геологических условий, тем более карты сейсмического районирования;
- 4.) Произведено обращение в Минрегион России с целью до принятия нового СНиПа по сейсмостойкому строительству направить в администрацию Красноярского края и другие субъекты федерации инструктивное письмо о недопустимости строительства ответственных сооружений без уточнения сейсмических свойств строительной площадки с помощью микросейсморайонирования.

-по второй главе: (СЛАЙД 29)

- 1.) Целесообразно уменьшение связей фундаментов с землей – источником сейсмических возмущений;
- 2.) Разработаны варианты конструктивной сейсмобезопасности обладающие большой пространственной жесткостью, многосвязностью, оказывающие небольшое давление на грунт, малочувствительны к неравномерным осадкам грунта, позволяющие сохранять свойства вечномёрзлых грунтов. В сейсмических районах повышена сейсмостойкость строений на данных платформах благодаря их поверхностному (незаглубленному) расположению и устройству скользящего слоя между платформой и основанием. Фундаментную платформу отличает также высокая степень надежности, экономичности и ремонтоспособности, что особенно важно для предотвращения и оперативной ликвидации последствий аварийных ситуаций.
- 3.) Снижение трения между подошвой фундамента и основанием уменьшает передачу горизонтальных сейсмических воздействий на фундамент и при превышении

сопротивления трению способствует проскальзыванию сейсмической волны под фундаментом. Компьютерное моделирование при использовании ПФП на скользящем слое показало снижение сейсмического воздействия в десятки раз;

4.) Экранирование (защита) фундамента поперечной траншеей эффективно и зависит от глубины, размеров и расположения траншеи ближе к зданию, возможно от соотношения частот собственной и возмущающей, от длины волны, типа фундамента и др., т.е. эффективность зависит от расчетного моделирования.