

Сейсмогеодинамический мониторинг и конструктивная сейсмобезопасность в Красноярском крае

Абовский Н.П., д.т.н., почетный член РААСН, профессор, СФУ, Сибгатулин В.Г., заслуженный геолог РФ, директор НП «ЭЦ РОПР», Палагушкин В.И., к.т.н., профессор, зав. кафедрой СМиУК, СФУ, Перетокин С.А., к.т.н., СФУ, Краснораменская Т.Г., к.г.м.н., СФУ, Забродин С.М., соискатель, СФУ, Худобердин И.Р., соискатель, СФУ.

1. Состояние вопроса. Первые результаты геодинамического мониторинга.

1.1 Сейсмическая активность Красноярского региона

Для г. Красноярска и прилегающих территорий список известных достаточно сильных исторических землетрясений охватывает временной интервал порядка 200 лет. 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.

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, MS=5.5, энергетический класс K=13.6; Синеборское землетрясение 25.01.03 г. в районе п. Шушенское MS=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 сейсмодифицита зданий и сооружений и инженерному укреплению объектов, имеющих сейсмодифицит.

Среди многообразия вопросов обеспечения сейсмической безопасности выделяются две первостепенные задачи:

- Уточнение сейсмических нагрузок с учетом геологических условий на основе сейсмического мониторинга и сейсмического микрорайонирования.
- Обеспечение сейсмобезопасности путем применения соответствующих конструктивных элементов, способных снижать сейсмическое воздействие на фундамент и в целом на сооружение.

Для решения упомянутых задач 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

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 [4], 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.

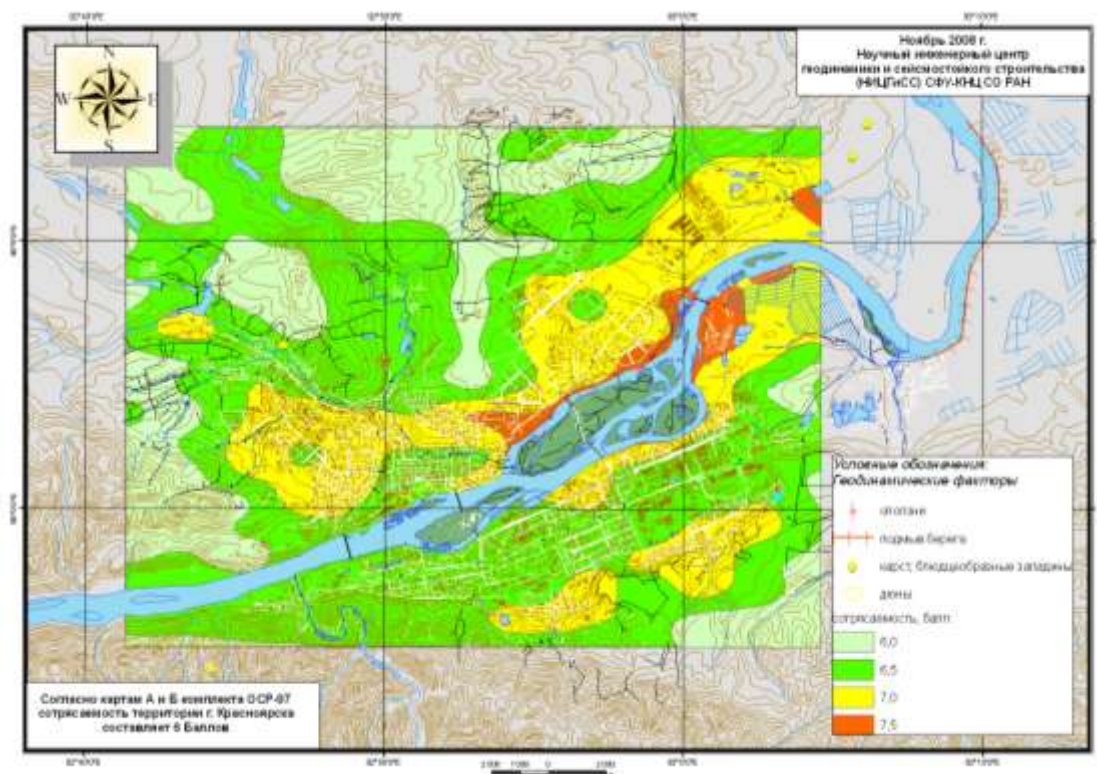


Рисунок 1. Схема сейсмического районирования территории Красноярска.

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 ОСП-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 относится 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 большого 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 [3], 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

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 сейсмодифицита

существующих зданий. Пользуясь этим, строительные и хозяйственные организации идут по пути наименьшего сопротивления и используют указанные допущения СНиПа П-7-81* и не проводят работ по сейсмическому микрорайонированию. Это приводит к росту объемов несейсмостойкого строительства и неточности в определении сейсмодифицита для новых и старых строений.

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

Развитие и применение методов конструктивной сейсмобезопасности диктуется современной объективной необходимостью и объясняется требованиями повышения безопасности (живучести) строений, стремясь обойти сложности моделирования сейсмических воздействий и несовершенства теории и методов расчета.

В районах повышенной сейсмичности и сложных грунтовых условиях целесообразно вместо приспособления традиционных конструкций развивать новые конструктивные решения, в первую очередь фундаменты и сейсмозащитные устройства, снижающие сейсмические воздействия. Необходимо шире 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, расположенным 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.

2.1 О классификации методов сейсмозащиты

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 (экранные), 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.

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 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.

Дополненная схема классификации приведена на рисунке 2.



Рисунок 2. Дополненная классификация систем сейсмозащиты по принципу их работы (курсивом выделены дополнения).

2.2 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, что ускорение фундаментов могут в несколько раз отличаться от ускорений грунтов основания [1].

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 [1], 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.

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 авторов) **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, 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. Отметим, что компьютерное моделирование платформ на скользящем слое показало снижение сейсмических воздействий во много раз. *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 передающихся на систему сейсмических воздействий.*

В монографии [1] приведен ряд запатентованных разработок, в том числе зданий замкнутого типа с пространственной фундаментной платформой на скользящем слое (см. рисунок 3-5), а также опыт строительства в сложных грунтовых условиях.

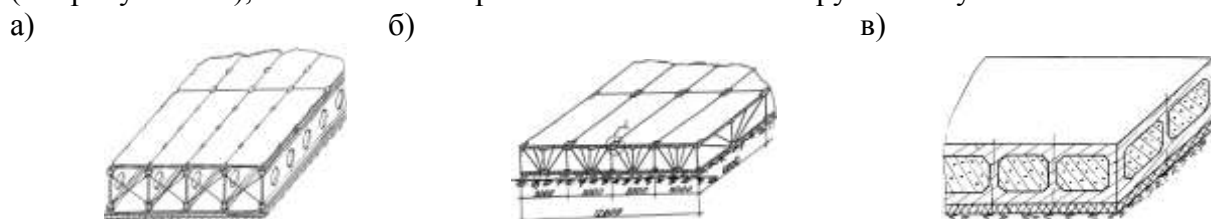


Рисунок 3. ПФП для строительства на слабых и вечномёрзлых грунтах: а) сборная железобетонная фундаментная платформа (патент № 2206665); б) сборная сталежелезобетонная фундаментная платформа (патент № 38789); в) монолитная фундаментная платформа (патент №44510)

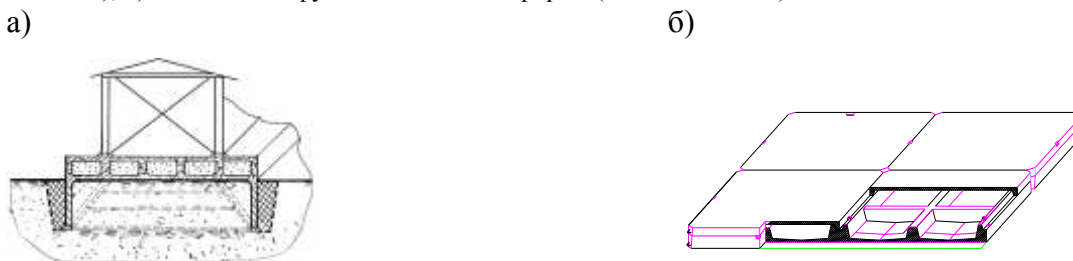


Рисунок 4. а) ПФП со «стенами в грунте» под здания и сооружения для строительства на слабых грунтах и в сейсмических зонах (патент РФ № 64650); б) пространственная железобетонная фундаментная платформа в сборном и сборно-монолитном вариантах под малоэтажное строительство в сложных грунтовых условиях (патент РФ № 69094)

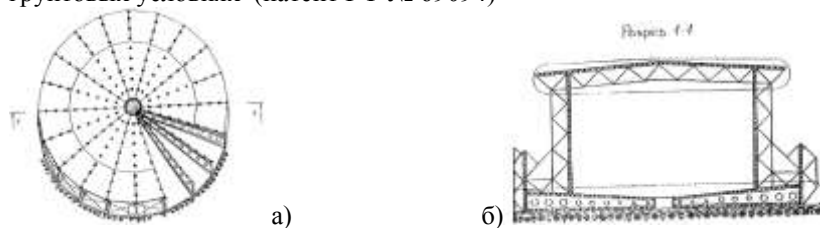


Рисунок 5. а) пространственная фундаментная платформа б) поперечный разрез ПФП, объединенной с резервуаром в замкнутую систему, для строительства на слабых, вечномёрзлых, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах (патент РФ №2273697)

Целесообразно, по идее, 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 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 [1].

3 Предложения в проект решения VIII Российской Национальной Конференции

1. Устранить противоречие между действующими федеральными документами: пункт 1.4 СНиПа II-7-81* и ФЦП «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009 - 2013 годы». Суть противоречия – в том, что допущение в п. 1.4 препятствует проведению работ по сейсмическому микрорайонированию. Строительные и хозяйственные организации, пользуясь этим допущением, не проводят работы по СМР, что ведет к росту объемов несейсмостойкого строительства. Региональная власть не может отменить и исправить такое сложившееся положение. Необходимо VIII Российской Национальной Конференции по сейсмической безопасности сооружений и городов и сейсмическому районированию обратиться в Минрегион России с предложением устранить указанное противоречие для включения в комплекс инженерно-геологических изысканий работы по сейсмическому микрорайонированию для ответственных сооружений (не дожидаясь принятия нового СНиПа).

2. Учитывая состояние и развитие проблемы сейсмостойкого строительства необходимо активнее развивать методы и устройства конструктивной сейсмобезопасности особенно для сложных грунтовых условий, включая предложенные малочувствительные конструкции замкнутого типа с применением пространственных фундаментных платформ на скользящем слое.

Список использованной литературы:

1. Абовский Н.П., Сибгатулин В.Г., Палагушкин В.И. и др. Конструктивная сейсмобезопасность зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях. /препринт-научное издание. / Красноярск : Сибирский федеральный ун-т. 2009, - с 186.

2. Абовский Н.П., Сибгатулин В.Г., Перетокин С.А. и др. Геодинамическое районирование – основа разработки нормативов сейсмостойкого строительства на территории «Красноярск 2020» // Вестник отделения строительных наук РААСН. 2009. Т. 1. №13. С. 5-16.

3. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ, 1999, 57 с.

4. Шерман С.И. и др. Региональные шкалы сейсмической интенсивности. – Новосибирск: 2003.- 189 с.