

DOI:10.38045/iaeee-007

УДК 625.7/8:624.154

ВЛИЯНИЕ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБОГО ГРУНТА ПОД ФУНДАМЕНТОМ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ СООРУЖЕНИЯ

А.Г.Тяпин⁽¹⁾

⁽¹⁾ АО «Атомэнергопроект», Москва, Россия, E-mail: atyapin@bvcp.ru

Аннотация: При возведении ответственных сооружений на слабых грунтах приходится применять укрепление грунтов с целью контроля осадок и кренов. Но создание укрепленной «грунтовой подушки» под фундаментом, как выясняется, иногда способно заметно снизить сейсмическую реакцию сооружения. В докладе этот эффект обсуждается на конкретном примере из практики.

IMPACT OF THE WEAK SOIL UPGRADE UNDER THE BASE MAT ON THE SEISMIC RESPONSE OF STRUCTURE

Alexander G. Tyapin⁽¹⁾

⁽¹⁾ JSC “Atomenergoprojekt”, Moscow, Russia. E-mail: atyapin@bvcp.ru

Abstract: In case of construction of essential structures on weak soils, it is necessary to apply soil upgrade or strengthening with aim of control soil settlement and building tilt. However, it turns out that “soil pillow” under the base mat, sometimes is capable significantly decreasing the seismic response of structure. This effect is demonstrated using practical case in report.

ПАЙДУБАЛДЫН АЛДЫНДАГЫ НАЧАР ЖЕР КЫРТЫШЫН БЕКЕМДӨӨНҮН КУРУЛМАНЫН СЕЙСМИКАЛЫК РЕАКЦИЯСЫНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ

А.Г.Тяпин⁽¹⁾

⁽¹⁾ «Атомэнергопроект» АК, Москва, Россия, E-mail: atyapin@bvcp.ru

Аннотация: Начар жер кыртышына жооптуу курулмаларды курууда чөгүүлөрдү жана кыйшаюуларды көзөмөлдөө максатында жер кыртышын бекемдөөнү колдонууга туура келет. Бирок, пайдубалдын алдындагы бекемделген “жер кыртышы жаздыкчасын” түзүү кээ бир учурда курулманын сейсмикалык реакциясын сезилээрлик төмөндөтүүгө жөндөмдүү экендиги белгилүү болот. Докладда бул натыйжа практикадан алынган конкреттүү мисалдар менен талкууланат.

В некоторых случаях тяжелые ответственные сооружения приходится возводить на площадках, сложенных слабыми грунтами. Статические расчеты показывают, что такие исходные грунты не в состоянии обеспечить требования, предъявляемые к осадкам фундамента. Если по тем или иным причинам заменить площадку нельзя, проводят специальные мероприятия по укреплению грунтов под подошвой фундаментной плиты. Это может быть замена конечного объема грунта на другой грунт, что влечет за собой необходимость устройства котлована, а также необходимость его осушения в процессе работ. Альтернативой является укрепление грунта без его выемки путем устройства «грунтовых свай», состоящих из исходного грунта, укрепленного добавками цемента. Соответствующие технологии получают все большее распространение по мере появления мобильных установок большой мощности, способных обеспечить перемешивание грунта с добавками на глубине десятков метров. Сваи могут накладываться в плане друг на друга, обеспечивая единый массив укрепленного грунта под фундаментом.

Какая бы технология ни была применена, в результате под фундаментом образуется некоторая «подушка» из материала значительно более высокой жесткости и несколько повышенной плотности. Эта подушка влияет не только на статические перемещения (осадки и крены), но и на динамическую реакцию сооружений, - в частности, на сейсмическую реакцию.

Проведенные автором расчеты объектов в разных вариантах моделирования основания показали, что устройство грунтовой подушки способно заметно снизить сейсмическую реакцию на фундаментной плите по сравнению с воздействием, заданным на свободной поверхности исходного основания. Доклад посвящен описанию проведенных расчетов и полученных результатов.

Сооружение рассматривалось как здание поверхностного заложения – заглублена была только грунтовая подушка (см. рис.1). В этом случае контакт фундамента с подушкой по подошве фундаментной плиты принимался полным.

Рис.1. Схема для расчета импедансов и нагрузок на жесткий фундамент здания: восемь слоев элементов по глубине

Исходное сейсмическое воздействие, заданное на поверхности слабых грунтов, было низкочастотным (практически все его энергетическое содержание пришлось на частотный диапазон до 8 Гц). Сейсмическая реакция на жестком фундаменте, вычисленная комбинированным асимптотическим методом [1] с использованием программ SASSI [2] и ABAQUS [3] с учетом обратного влияния податливого сооружения, заметно снизилась по сравнению с воздействием в горизонтальных направлениях (см. рис.2). В вертикальном направлении снижение было более умеренным (см. рис.3). Следует отметить, что жесткая фундаментная плита получила и реакцию по угловым координатам – двум качательным и одной крутильной. Этих компонент в исходном воздействии не было.

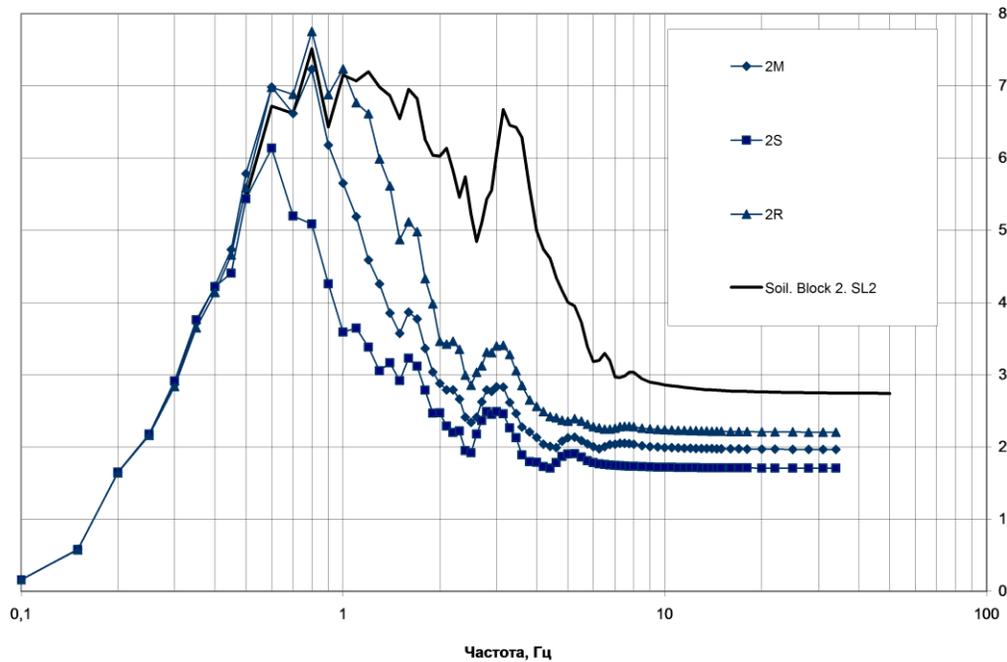


Рис.2. Сравнение спектров ускорений для трех грунтов по направлению X

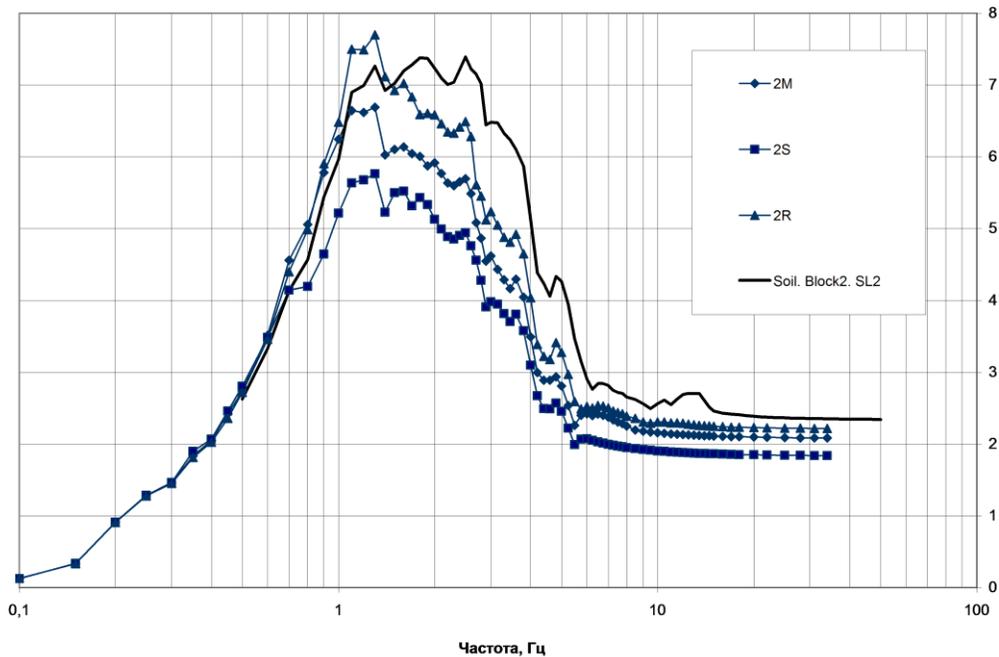


Рис.3. Сравнение спектров ускорений для трех грунтов по направлению Z

Расчеты были проведены в нескольких вариантах; при этом варьировались жесткости всех материалов основания (как грунтов, так и материала подушки). Для среднего варианта грунтового профиля на рис.2 и рис.3 использовано обозначение “М”. «Мягкий» (обозначение “S”) и «жесткий» (обозначение “R”) грунтовые профили отличались от среднего профиля по модулям упругости в два раза (для мягкого профиля

– в сторону уменьшения, для жесткого профиля – в сторону увеличения). Рис.2 и рис.3 показывают, что чем мягче были грунты, тем заметнее был эффект снижения сейсмической реакции.

В среднем варианте скорости волн сдвига вокруг подушки в исходном грунте составляли от 100 до 140 м/с в зависимости от интенсивности воздействия (при малых деформациях они были в районе 200 м/с). При этом в материале подушки в среднем варианте скорости волн сдвига составляли 1300 м/с. Исходный средний профиль скоростей волн сдвига при малых деформациях и при конечных деформациях, соответствующих трем уровням сейсмического воздействия, показан на рис.4.

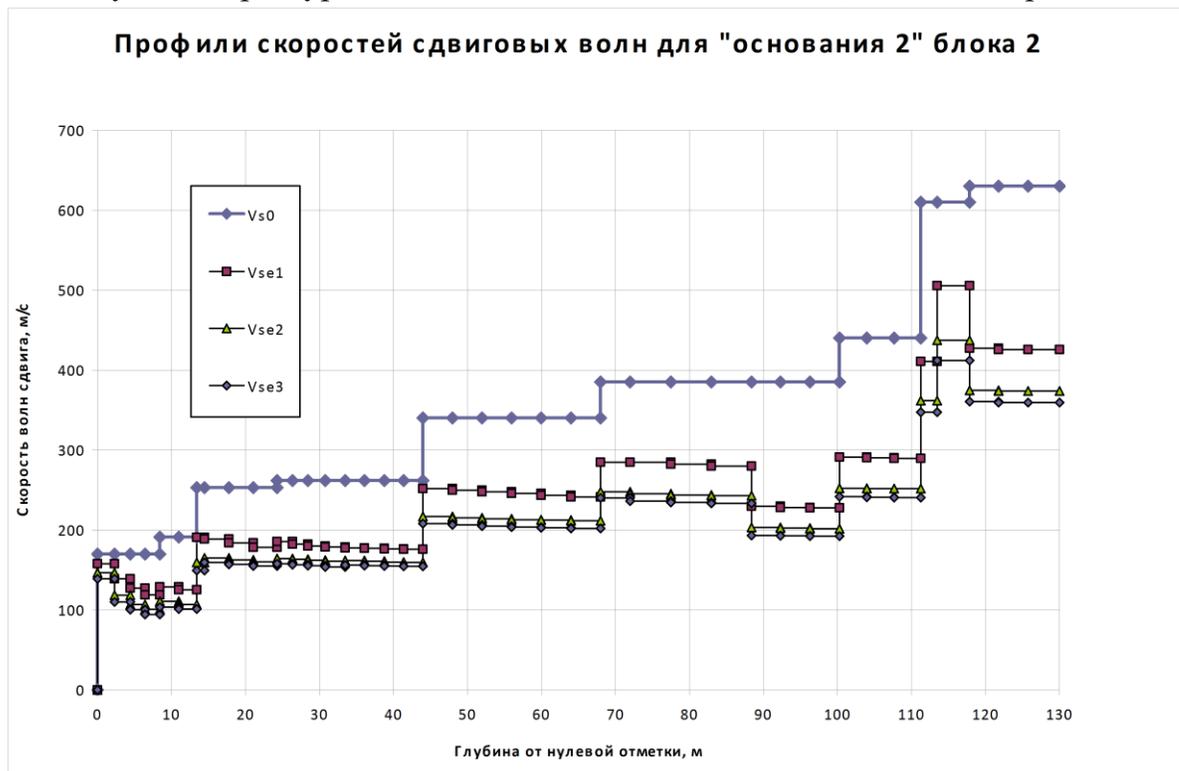


Рис.4. Профили эффективных скоростей волн сдвига для разных уровней воздействия

Обнаруженный эффект снижения сейсмической реакции позволяет в подобных случаях рассматривать укрепление грунтов под подошвой как своеобразную альтернативу сейсмоизоляции фундаментов. При этом такая альтернатива способна сильно сократить затраты на строительство. Физическое сходство результатов с результатами применения сейсмоизоляции налицо: первые собственные частоты системы «сооружение-основание» резко уменьшаются, что позволяет уходить в частотный диапазон сниженных спектральных ускорений воздействия. Кроме того, возрастает демпфирование (за счет волнового демпфирования в основании). Относительные перемещения фундамента при этом увеличиваются, но они не локализованы, как в случае сейсмоизоляции, а распределяются непрерывно в окрестностях фундамента, что более благоприятно для коммуникаций.

Однако для полного понимания природы обнаруженного эффекта предстоит ответить на ряд дополнительных вопросов, некоторые из которых сформулированы в докладе.

- Как известно, взаимодействие сооружений с основанием объединяет два разноплановых фактора. Первый фактор – т.н. «кинематическое взаимодействие», определяющее сейсмическую реакцию жесткого невесомого фундамента. В этих расчетах верхнее строение не участвует. Второй фактор – т.н. «инерционное взаимодействие», в котором участвует масса и жесткость верхнего строения. Предстоит выяснить, в каких соотношениях оба названных фактора влияют на конечный эффект снижения реакции. Если первый фактор вносит существенный вклад, отмеченный эффект способен помочь не только тяжелым сооружениям типа рассчитываемых автором, но и широкому классу гражданских сооружений.

- В отдельно взятом «кинематическом взаимодействии» также играют роли два разноплановых фактора. Первый фактор – отражение и преломление вертикальных сейсмических волн. При исследовании влияния этого фактора «грунтовую подушку» под фундаментом следует принимать бесконечной в горизонтальных направлениях. Это позволяет сделать программа SHAKE [4]. Разумеется, при таких одномерных расчетах теряется качательная реакция невесомого фундамента поверхностного заложения. Второй фактор – влияние конечных размеров подушки фундамента и плане.

ЛИТЕРАТУРА

- Тяпин А.Г. *Учет взаимодействия сооружений с основанием при расчетах на сейсмические воздействия.* – М: Издательство АСВ, 2014 г. – 136 с.
- Lysmer J., Tabatabaie R.M., Tajirian F., Vahdani S., Ostadan F. *SASSI - A System for Analysis of Soil-Structure Interaction. Research Report GT 81-02. University of California, Berkeley. 1981.*
- ABAQUS. *Version 6.8. Dassault Systèmes Simulia Corp., Providence, RI, USA. 2008.*
- Schnabel P.B., Lysmer J., Seed H.B. *SHAKE - a Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites. Rep. EERC 72-12. Berkeley, California, 1972.*