

УДК 624.042

DOI: 10.38054/iaeee-202304

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВОВ

**Габиров Ф.Г.**, *Азербайджанский Научно-Исследовательский Институт Строительства и Архитектуры, г. Баку, Азербайджан. E-mail: farchad@yandex.ru*

**Шокарев В.С.**, *Научно-Исследовательский Институт Строительных Конструкций, г. Запорожье, Украина. E-mail: niisk@optima.com.ua*

**Марьенков Н. Г.**, *Научно-Исследовательский Институт Строительных Конструкций, г. Киев, Украина. E-mail: maryen@dynamniisk.kiev.ua*

**Аннотация.** Анализ инженерных методов защиты сооружений от воздействия сейсмических волн показывает, что одним из перспективных и малоизученных инженерных методов защиты являются экраны. Системный анализ известных технических решений по созданию скважинных сейсмозащитных экранов показал, что их в целом образуют в виде цилиндрических полостей (вертикальных и наклонных), которые в большинстве случаев заполняют, поглощая разрушительную часть энергии сейсмических колебаний, материалом. Разработаны инженерные способы уплотнения массивов лёссовых просадочных суглинков с применением жестких защитно-отражающих экранов. В разработанных способах уплотнения массивов просадочных суглинков в застроенных территориях экраны создают перед увлажнением массива. Это достигается закреплением по контуру уплотняемого участка через дно контурных траншей до конца просадочного слоя инъекцией вяжущего раствора, термическим обжигом, замораживанием. Проведенные экспериментальные исследования сейсмических воздействий на здания при производстве взрывов, с целью гидровзрывного уплотнения лёссовых просадочных грунтов, подтвердили эффективность различных разработанных конструкций и схем расположения сейсмозащитных экранов. Применение сейсмозащитного экрана позволило разработать рекомендации и выполнять глубинные взрывы с массой взрывчатого вещества 5 кг на расстояниях 11 м до существующего строительного объекта в городах Запорожье и Волгодонск.

**Ключевые слова:** просадочный грунт, защитный экран, скважины, энергия, сейсмические колебания, экспериментальные исследования, здание, конструкция.

## USE OF SEISMIC PROTECTIVE SCREENS IN THE COMPACTION OF SUBSIBLE SOILS BY EXPLOSION ENERGY

**Gabibov F.G.**, *Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture, Baku, Azerbaijan. E-mail: farchad@yandex.ru*

**Shokarev V.S.**, *Research Institute of Building Structures, Zaporozhye, Ukraine. E-mail: niisk@optima.com.ua*

**Marenkov N.G.**, *Research Institute of Building Structures, Kiev, Ukraine. E-mail: maryen@dynamniisk.kiev.ua*

**Abstract.** An analysis of engineering methods for protecting structures from the effects of seismic waves shows that screens are one of the promising and little-studied engineering methods of protection. A systematic analysis of known technical solutions for the creation of borehole seismic screens showed that they are generally formed in the form of cylindrical cavities (vertical and inclined), which in most cases are filled with material that absorbs the destructive part of the energy of seismic vibrations. Engineering methods have been developed

for compacting masses of loess subsidence loams using rigid protective-reflecting screens. In the developed methods of compaction of subsiding loam massifs in built-up areas, screens are created before the massif is moistened. This is achieved by fixing along the contour of the compacted area through the bottom of the contour trenches to the end of the subsidence layer by injection of a binder solution, thermal firing, freezing. The experimental studies of seismic impacts on buildings during the production of explosions, for the purpose of hydraulic explosive compaction of loess subsidence soils, confirmed the effectiveness of various developed designs and layouts of seismic protection screens. The use of a seismic screen made it possible to develop recommendations and carry out deep blasts with an explosive mass of 5 kg at distances of 11 m to an existing construction site in the cities of Zaporozhye and Volgodonsk.

**Key words:** collapsible soil, protective screen, wells, energy, seismic vibrations, experimental studies, building, structure.

## 1. Введение

Уплотнение грунтов в основании будущих зданий и сооружений замачиванием и энергией взрыва глубинных зарядов (гидровзрывной метод) применяется с целью устранения просадочных свойств грунтов, повышения их прочности и несущей способности. Сущность гидровзрывного способа заключается в ослаблении структурных связей грунта путем его замачивания до предела текучести и осуществлении взрывов одиночных глубинных зарядов взрывчатого вещества. В дальнейшем грунт уплотняется под собственным весом. Разработка, развитие и исследование гидровзрывного метода уплотнения просадочных грунтов приведена в монографиях И.М.Литвинова [1], А.М.Рыжова [2] и Ф.Г.Габибова [3].

При уплотнении грунтов гидровзрывным методом в условиях городской застройки сейсмобезопасные расстояния до многоэтажных зданий определяется с учетом динамических характеристик охраняемых объектов.

Сейсмобезопасное расстояние от эпицентра взрыва глубинного заряда до многоэтажных зданий с конструктивными противопросадочными или антисейсмическими мероприятиями можно определять по экспериментально полученной формуле

$$r_c \geq k \times \sqrt[3]{q} \quad , \quad (1)$$

где  $q$  – масса заряда,  $k$  – коэффициент равный: 80 – для зданий до 9 этажей; 130 – для зданий выше 9 этажей.

В застроенном районе масса глубинного заряда взрывчатого вещества не должна превышать 10 кг. Расстояние от эпицентра взрывов до окружающих зданий, находящихся в удовлетворительном техническом состоянии, должно составлять не менее 40 м [4]. Если существующие здания и сооружения находятся на расстояниях менее допустимых, требуется разработка мероприятий направленных на снижения сейсмического эффекта.

Одним из способов снижения сейсмического эффекта на строительные объекты являются применение сейсмозащитных экранов на пути распространения взрывной волны от глубинных зарядов к охраняемому зданию. Одним из недостатков гидровзрывного способа уплотнения лёссовых просадочных суглинков является практическая невозможность его применения в застроенных территориях, так как сейсмические колебания, вызванные глубинными взрывами, могут привести к повреждениям рядом стоящих сооружений. Анализ инженерных методов защиты сооружений от воздействия сейсмических волн показывает, что одним из перспективных и малоизученных инженерных методов защиты являются экраны.

Приведенный в работе [5] системный анализ известных технических решений по созданию скважинных сейсмозащитных экранов показал, что их в целом образуют в виде цилиндрических полостей (вертикальных и наклонных), которые в большинстве случаев заполняют, поглощающим разрушительную часть энергии сейсмических колебаний,

материалом. Эти экраны в основном имеют статический характер ожидания восприятия динамического воздействия.

Я.Л. Кранцфельд [6] в обзорной статье по сейсмозащитным экранам считает, что идея экранирования сейсмических волн заслуживает серьезного внимания. Он считает, что необходимо разработать модели защитных экранов и практические способы их расчета, для чего можно использовать опыт США в области моделирования и расчета волнового воздействия разных слоев в грунтовом массиве [7] и компьютерную программу SASSI в различных модификациях для численных экспериментов и оценок эффективности рассматриваемых вариантов технических решений сейсмозащитных экранов.

А.М. Уздин и М.В. Фрезе [8] на основе модельных исследований пришли к выводу, что экранирование в сейсмостойком строительстве неоднозначно. Они считают, что надо осторожно подходить к использованию экранирования в сейсмостойком строительстве, хотя по их мнению, указанный технический прием может быть полезным.

## 2. Разработка жестких защитно-отражающих экранов

Разработаны инженерные способы уплотнения массивов лёссовых просадочных суглинков с применением жестких защитно-отражающих экранов [9]. Образование экранов по контуру уплотняемого участка резко ослабит интенсивность сейсмических колебаний за пределами участка. Происходит это за счёт отражения волны от внутренней поверхности экрана, а также за счёт затухания волны в самом экране. Отражённая от экрана взрывная волна растянёт сейсмически активный период от взрывов внутри уплотняемого участка, что позволит повысить качество уплотнения просадочной суглинистой толщи.

Одна из простейших задач о взаимодействии плоской волны в линейно упругой среде с плоской преградой была рассмотрена Г.М.Ляховым [10]. Согласно [11] система уравнений, определяющая адиабатическое движение идеальной жидкости, в случае плоской, цилиндрической и сферической симметрии может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{x} = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} = 0; \quad p = p(\rho S), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $u$  – скорость частиц;  $\rho$  – плотность;  $p$  – давление;  $S$  – энтропия;  $t$  – время;  $v$  – соответственно равно 0, 1, 2.

При описании движения сплошной среды можно пользоваться двумя методами – Эйлера и Лагранжа.

В разработанных способах уплотнения массивов просадочных суглинков в застроенных территориях экраны создают перед увлажнением массива. Это достигается закреплением по контуру уплотняемого участка через дно контурных траншей до конца просадочного слоя инъекцией вяжущего раствора, термическим обжигом, замораживанием. Схемы уплотнения просадочных суглинистых массивов с созданием жёстких экранов в различных вариантах показаны на рис.1, 2 и 3. Не описывая всю технологию уплотнения, так как почти все операции гидровзрывного способа уплотнения повторяются, изложим только технологии создания экранов:

1. Создание экрана инъекцией закрепляющего раствора (рис.1). По контуру уплотняемого участка бурят контурные скважины 7 при помощи установок шнекового бурения. Через дно контурных траншей в контурные скважины вводят инъекторы 8. Контурные скважины бурят с равным шагом. Закрепление по контуру начинают от дна контурных скважин путём введения через инъекторы закрепляющего раствора (например, силиката натрия). Зоны проникновения закрепляющего раствора через контурные скважины должны смыкаться. В результате

образуется монолитный экран по контуру уплотняемого участка. После образования экрана производится замочка массива и гидровзрывы.

2. Создание экрана обжигом грунта по контуру. После образования контурных скважин (рис.2) для обжига грунта можно использовать устройство, позволяющее разжигать скважины при термической обработке грунта не только с верхней, но и в любой части скважины, в том числе и в забое. Приспособление для разжигания скважины состоит из направляющей трубки, на нижнем конце которой имеется зажим для съёмных железных наконечников 8. Устройство присоединяется с помощью гибких шлангов 10 к баллону с кислородом 11. Обжиг грунта производят следующим образом. Конец металлического наконечника предварительно разогревают до красного каления, после чего через жаропрочную трубу подают кислород, который вызывает горение металла. Затем это устройство опускаем в скважину на заданную глубину. Под действием высокой температуры ( $>1000^{\circ}\text{C}$ ), возникающей при сгорании металла в кислороде, образуется раскаленная зона в забое скважины. Зону обжига постепенно перемещают вверх к устью скважины путём поднятия факела 9. После проведения обжига во всех контурных скважинах получается монолитная стенка по контуру участка 1, которая и является экраном. Когда экран уже готов в уплотняемый массив подаётся вода и производятся гидровзрывы.

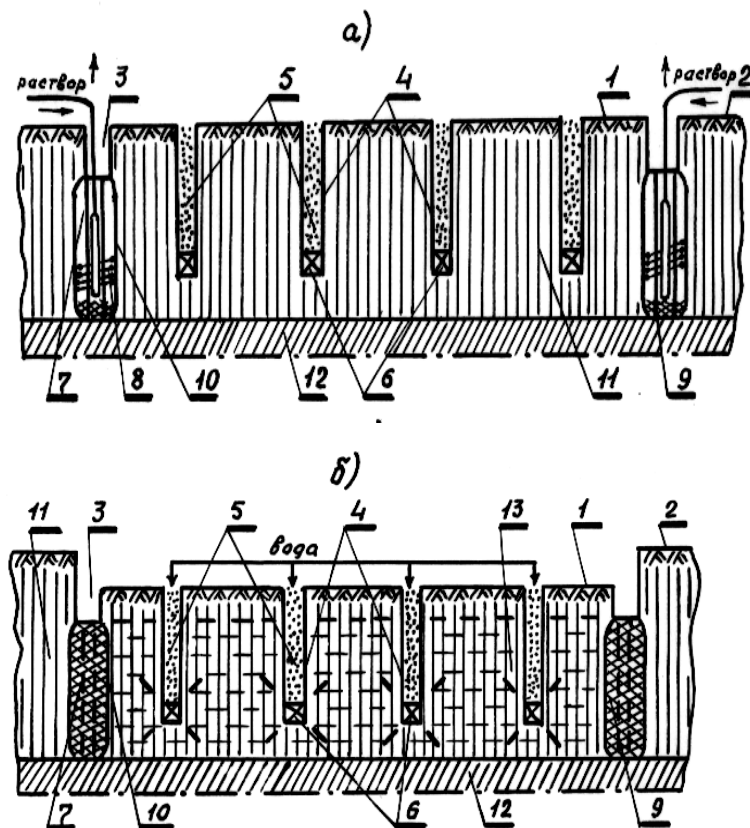


Рис. 1. Схема уплотнения просадочного массива с экраном из закрепляющего раствора: а) профиль уплотняемого участка при инъекции закрепляющего раствора; б) профиль уплотняемого участка в момент взрыва зарядов; 1 – уплотняемый участок; 2 – неуплотняемый участок; 3 – контурные траншеи; 4 – внутренние взрывные скважины; 5 – дренажный материал; 6 – заряды ВВ; 7 – контурные скважины; 8 – иньектор; 9 – закреплённый грунт; 10 – граница закрепления; 11 – неувлажнённый просадочный грунт; 12 – непросадочный грунт; 13 – увлажнённый просадочный грунт

3. Создание экрана путём замораживания грунта по контуру уплотняемого массива (рис.3). В отличие от двух предыдущих способов в последнем, перед созданием экрана, производят увлажнение просадочного суглинистого массива. После этого, от дна контурных

траншей 3 до конца просадочного слоя, бурят контурные скважины 8. Систему контурных скважин оборудуют замораживающими колонками, состоящими из питательных труб 9 и замораживающих труб 10. Через замораживающие колонки с помощью насосов прокачивают хладоноситель, охлаждённый за счёт испарения жидкого хладагента (аммиак или фреон), до отрицательных температур (от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ ). После замораживания получается монолитная стенка из замороженного грунта 13 по контуру уплотняемого массива 1, который и является экраном. После этого удаляют из контурных скважин 8 замораживающие колонки и производят гидровзрывы.

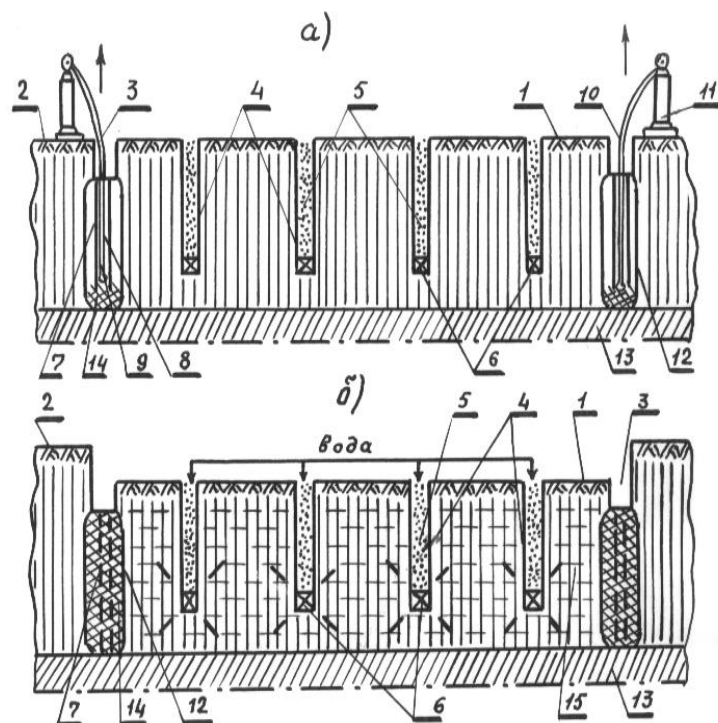


Рис.2. Схема уплотнения просадочного массива с экраном из обожжённого грунта: а) профиль уплотняемого участка при обжиге грунта по контуру; б) профиль уплотняемого участка в момент взрыва зарядов; 1 – уплотняемый участок; 2 – неуплотняемый участок; 3 – контурные траншеи; 4 – внутренние взрывные скважины; 5 – дренажный материал; 6 – заряды ВВ; 7 – контурные скважины; 8 – наконечник; 9 – факел; 10 – гибкий шланг; 11 – баллон; 12 – граница обжига; 13 – непросадочный грунт; 14 – обожжённый грунт; 15 – увлажнённый просадочный грунт

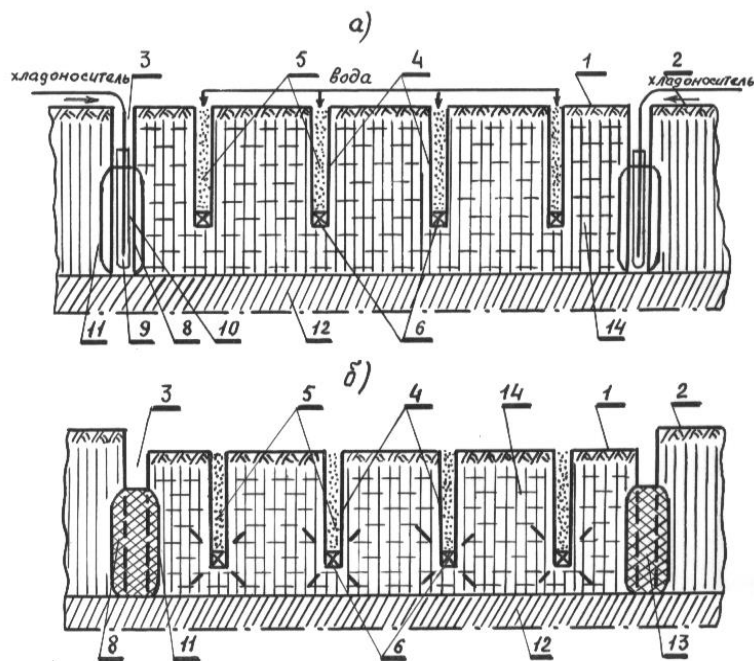


Рис.3. Схема уплотнения просадочного массива с экраном из замороженного грунта: а) профиль уплотняемого участка при замораживании по контуру; б) профиль уплотняемого участка в момент взрыва зарядов; 1 – уплотняемый участок; 2 – неуплотняемый участок; 3 – контурные траншеи; 4 – внутренние взрывные скважины; 5 – дренажный материал; 6 – заряды ВВ; 7 – граница увлажнения; 8 – контурные скважины; 9 – питающая труба; 10 – замораживающая труба; 11 – граница замораживания; 12 – непросадочный грунт; 13 – замороженный грунт; 14 – увлажнённый просадочный грунт.

Создание экранов по контуру уплотняемого массива или участка позволяет не только более эффективно использовать энергию глубинных взрывов и предотвратить повреждение рядом стоящих сооружений, но и сократить потери воды в сторону от уплотняемого массива.

### 3. Применение скважинного сейсмозащитного экрана при глубинных взрывах в г. Запорожье

Исследования проводились в 17 микрорайоне Хортицкого жилмассива в г. Запорожье. Площадка строительства до глубины 32,0 метра сложна толщей лессовых просадочных грунтов, залегающих на неогеновых отложениях мощностью до 10 метров. Просадочная толща грунтов характеризуется частым переслаиванием и выклиниванием различных по своим свойствам слоев. Верхние слои до глубины 18 м характеризуется относительной просадочностью 0,04 до 0,73; нижние слои на глубинах от 18 до 32 м имеют относительную просадочность от 0,01 до 0,03. Суммарная величина потенциальных деформаций [12] равна 2,56 м.

Подготовка основания гидровзрывным методом жилого дома №5 (опытная площадка) выполнялась в частично застроенном микрорайоне.

Минимальное расстояние от взрывных скважин до фундамента существующего жилого дома №4 составляло 10,5 метров. Девятиэтажный жилой дом №4 был возведен на гидровзрывном основании.

Конструктивная схема зданий 96 серии - поперечные керамзитобетонные несущие стены толщиной 350 мм с опиранием панелей перекрытия толщиной 160 мм, выполненных из тяжелого бетона по контуру. Шаг поперечных стен 3,0 и 3,6 метра, пролет 5,1 и 5,7 метров, высота этажа 2,8 м. Фундаменты решены в виде монолитной железобетонной ленты шириной 1,2 метра, непрерывной под всеми наружными и внутренними стенами.

Замачивание грунтов в основании жилого дома №5 осуществлялось через дренажные скважины. Скважины длиной 20 м, диаметром 350 мм располагались с шагом 3×3 м. Ряды скважин соединялись между собой дренажными траншеями. Замачивание площадки производилось в течение 35 дней.

С целью определения действительного уровня колебаний существующего жилого 10-ти этажного дома №4 в 17 микрорайоне г. Запорожья и на этой основе установления допустимой массы зарядов взрывчатого вещества (ВВ) были выполнены исследования колебаний жилого дома при гидровзрывном уплотнении грунтов.

Сейсмический эффект взрыва глубинных зарядов зависит от многих факторов: тип ВВ, масса заряда, его форма, грунтовые условия, глубина заложения зарядов и др. [12, 13].

В условиях городской застройки мощность взрыва необходимо ограничивать с учетом сейсмобезопасных расстояний.

Интенсивность допустимых колебаний грунта в основании жилых многоэтажных домов в соответствии с сейсмической шкалой при взрывах составляет 3-4 балла. Кроме того, уровень колебаний жилого дома не должен превышать допустимый по Санитарным нормам [13-15].

В связи с тем, что расстояние уплотняемых площадок (под дом №5) до существующего 10-ти этажного жилого дома №4 составляло 11 м, необходимо было применить сейсмозащитный экран на пути распространения взрывных волн от глубинных зарядов к охраняемому зданию.

Проведенные в НИИСК (Украина) экспериментально-теоретические исследования экранов (искусственных преград) позволили установить, что их применение позволяет снизить интенсивность колебаний грунта от 1,2 до 2 раз.

Перед выполнением взрывов в процессе разработки проекта инженерной подготовки основания жилого дома №5 была определена расчетным путем эффективность снижения колебаний грунта сейсмозащитным экраном (два ряда полных скважин диаметром 350 мм, глубиной 15 м и шагом 1 м).

На основе опытных данных, полученных в НИИСК при исследованиях колебаний грунта в 17-м микрорайоне г. Запорожья, скорость распространения сейсмозрывных волн (продольных) в лессовых грунтах  $v_p=300...400$  м/с. Преобладающие периоды колебаний грунта при глубинных взрывах равны:  $T=0,1...0,5$ с (рис.4).

С учетом приведенных данных и ширине сейсмозащитного экрана 1 м получено значение коэффициента экранизации (отношение амплитуд колебаний грунта при наличии экрана и при его отсутствии) в пределах 0,5..0,6.

С целью проверки расчетных данных и установления допустимой массы зарядов ВВ были выполнены экспериментальные исследования колебаний грунта и жилых домов при воздействиях взрывов. Измерения колебаний зданий и грунта выполнены с помощью стандартной сейсмометрической аппаратуры, состоящей из осциллографа Н041.У4.2, сейсмоприемников марки СМ-3 и шунтовой коробки ШК-2. Запись осциллограмм производилась на рулонную фотобумагу.

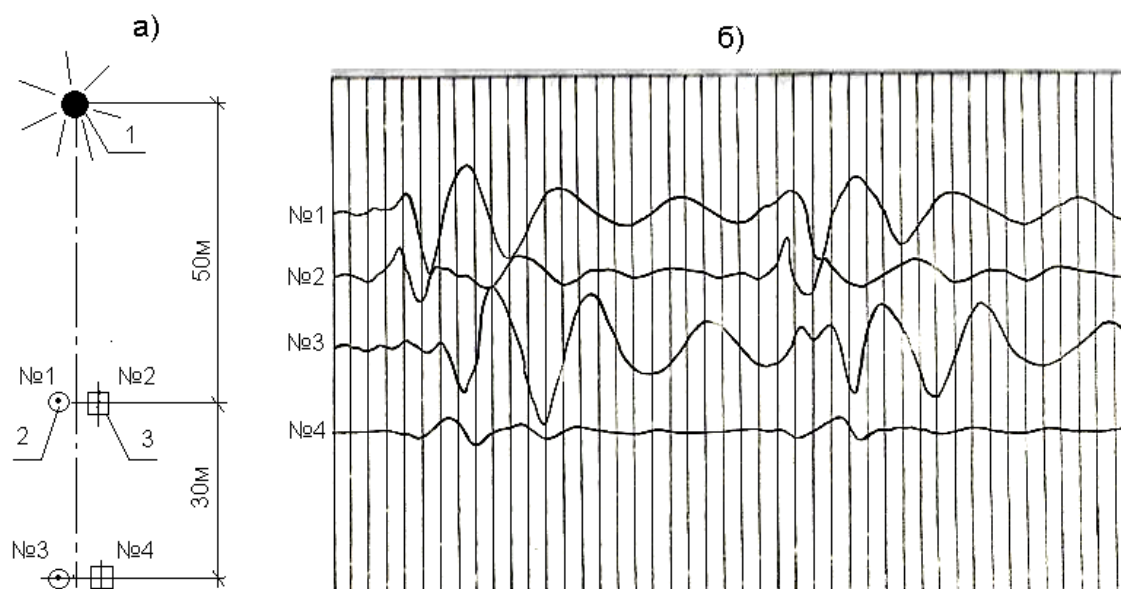


Рис. 4. Схема расстановки вибродатчиков и запись колебаний поверхности грунта на разных расстояниях от взрывной скважины при отсутствии сейсмозащитного экрана: а)- схема расстановки датчиков №№ 1,2,3,4 марки СМ-3; б)- запись виброперемещений; 1- взрывное воздействие (глубинный заряд в скважине); 2 и 3- датчики для регистрации вертикальных и горизонтальных колебаний

Схема расположения сейсмозащитного экрана и сейсмоприемников при гидровзрывном уплотнении грунта на площадке около дома №4 приведена на рис.5.

С целью определения коэффициента экранизации сейсмозащитного экрана были установлены на грунте датчики вертикальных виброперемещений (датчик № 1<sup>В</sup> за экраном и датчик № 2<sup>В</sup> перед экраном). Измерения горизонтальных виброперемещений жилого дома № 4 выполнены на полу первого этажа ( датчик № 4<sup>Г</sup>) и на крыше ( датчик № 6<sup>Г</sup>).

Так как при воздействиях глубинных взрывов горизонтальные колебания зданий являются преобладающими, то вертикальные колебания здания не регистрировались.

Полученные максимальные значения параметров колебаний соответствуют воздействиям одиночных глубинных взрывов ( с массой заряда ВВ 5 кг) ближайших рядов к существующему жилому дому № 4. Анализ полученных опытных данных колебаний грунта и жилого дома позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Амплитуды горизонтальных виброперемещений жилого дома № 4 в уровне первого и десятого этажей соответственно равны 0,26-0,68 мм и 0,37-1,78 мм. Интенсивность колебаний основания дома составляла 3-3,5 балла, что не превышает допустимого значения, равного 4 баллам. Амплитуды горизонтальных виброперемещений десятого этажа дома в основном не превышали 1,1 мм, что является допустимым по санитарным нормам для жилых зданий.
2. Снижение интенсивности вертикальных колебаний грунта за сейсмозащитным экраном зарегистрировано при взрывах ближайших к дому № 4 зарядов ВВ в диапазоне 1,2-2,2.
3. Увеличение амплитуды горизонтальных виброперемещений десятого этажа дома по сравнению с первым этажом зарегистрировано в пределах 1,4-2,8 .
4. Периоды вынужденных колебаний грунта (при воздействиях глубинных взрывов) в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно равны:  $T_{Г} = 0,2-0,5$  с и  $T_{В} = 0,19-0,4$  с.



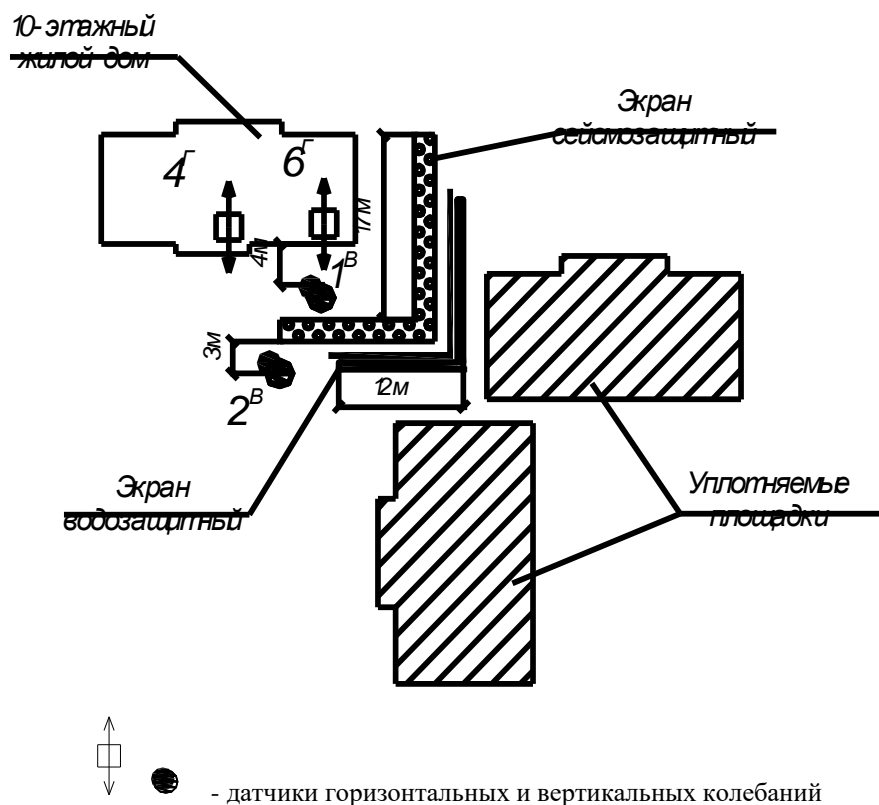


Рис. 5. Схема размещения сейсмоприемников на грунте у сейсмозащитного экрана и в 10-этажном доме

#### 4. Применение сейсмозащитного экрана при глубинных взрывах в совхозе 1 Мая Одесской области

В совхозе 1 Мая Ренийского района Одесской области произведено уплотнение гидровзрывным способом основания школы на 844 учащихся. Грунты, слагающие площадку, разделены на 9 инженерно-геологических слоев.

В геологическом строении территории на разведенную глубину 20,0 м принимают участие лессовые отложения, подстилаемые делювиальными супесями и аллювиальными песками.

Геолого-литологическое строение территории, по данным бурения на глубину 20,0 м, следующее:

1. Насыпной слой, строительные отходы, слежавшиеся. Толщина 0,3-0,9 м.
2. Почвенно-растительный слой, супесь твердая, темно-коричневая. Толщина 0,2-0,8 м.
3. Супесь (лесс) твердая, гумуссированная, желтая, темно-желтая. Толщина 0,4-1,5 м.
4. Супесь (лесс) твердая, светло-желтая, высокопористая. Толщина 2,3-8,4 м; влажность -  $W=0,11$ ;  $\rho_d = 1,37 \text{ г/см}^3$ ;  $e=0,96$ ;  $E=2,0-5,0 \text{ МПа}$ .
5. Суглинок твердый, лессовый, коричнево-желтый до темно-коричневого, высокопористый. Толщина 3,3-5,1 м;  $W=0,14$ ;  $\rho_d = 1,35 \text{ г/см}^3$ ;  $e=0,99$ ;  $E=2,0-4,5 \text{ МПа}$ .
6. Супесь (лесс) твердая, с пунктациями гидроокислов марганца, высокопористая, светло-желтая. Толщина 8,0-11,0 м;  $W=0,10$ ;  $\rho_d = 1,37 \text{ г/см}^3$ ;  $e=0,97$ ;  $E=2,0 \dots 7,0 \text{ МПа}$ .
- 6а. Супесь (лесс) твердая, влажность повышенная, наблюдаются пунктации гидроокислов марганца, высокопористая, светло-желтая. Толщина 1,4-5,5 м;  $W=0,16$ ;  $\rho_d = 1,35 \text{ г/см}^3$ ;  $e=0,98$ ;  $E=2,0-3,5 \text{ МПа}$ .
7. Суглинок твердый, с пунктациями гидроокислов марганца, лессовый, буровато-желтый. Толщина 0,2-1,0 м.

8. Супесь твердая, редкие включения карбонатов и пунктации гидроокислов марганца, желтая. Толщина 0,2-1,0 м.

9. Песок средней крупности, средней окатанности, кварцевый, в кровле мелкий, прослой с включением гальки, маловлажный.

Грунты ИГЭ - 4, 5, 6, 6а обладают просадочными свойствами при замачивании, как под нагрузкой, так и от собственного веса грунта. Суммарная просадка отмеченных слоев колеблется от 45,2 мм до 49,9 см, при мощности просадочной толщи 12-14 м. Грунтовые воды до глубины 20 м не встречены.

Замачивание уплотняемого массива осуществлялось через скважины с разводкой воды посредством котлованов. Глубина дренажно-взрывных скважин составила 8 м, диаметр 400 мм. Масса одиночного заряда взрывчатого вещества составила 6,4 и 4,9 кг.

С целью уменьшения растекания воды при замачивании и сейсмических воздействий между существующими строениями и уплотняемой площадкой было предусмотрено устройство сейсмозащитных экранов (рис.6-10) из двух рядов скважин диаметром 400 мм с шагом 1,0 м в шахматном порядке. Первый, расположенный ближе к уплотняемой площадке ряд скважин экрана, был заполнен мятой глиной, а второй – опилками. Кроме этого, участок экрана длиной 10,0 м был заполнен щебнем.

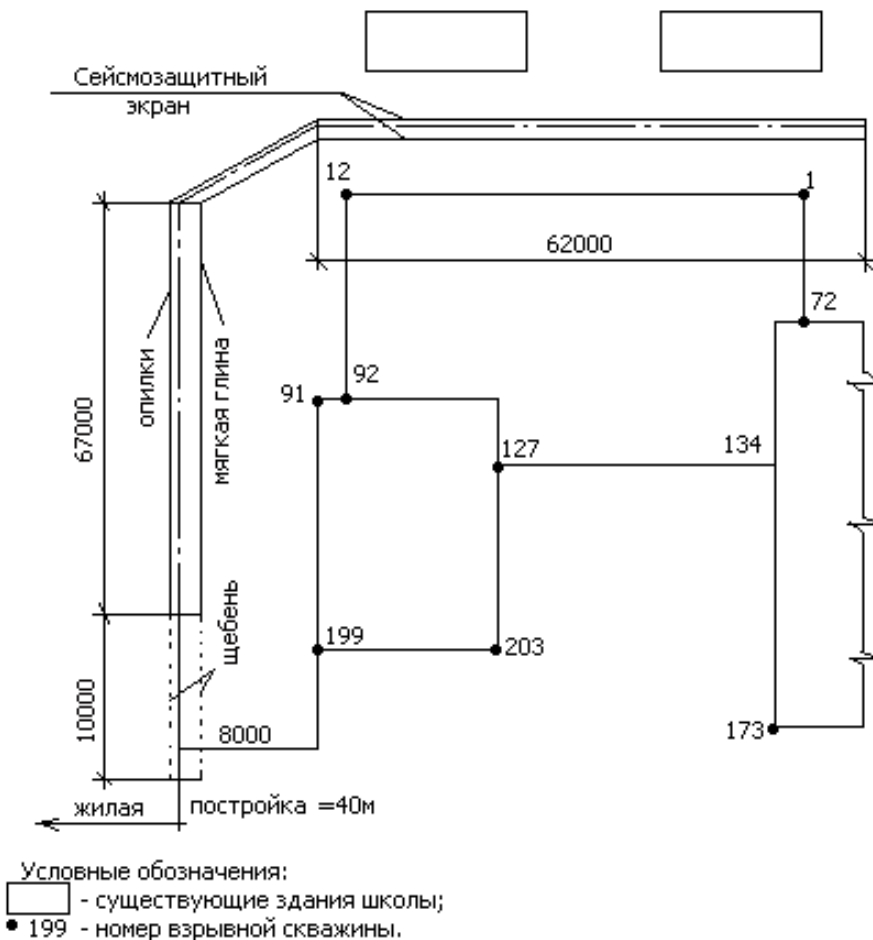


Рис. 6. Конфигурация сейсмозащитного экрана в грунте

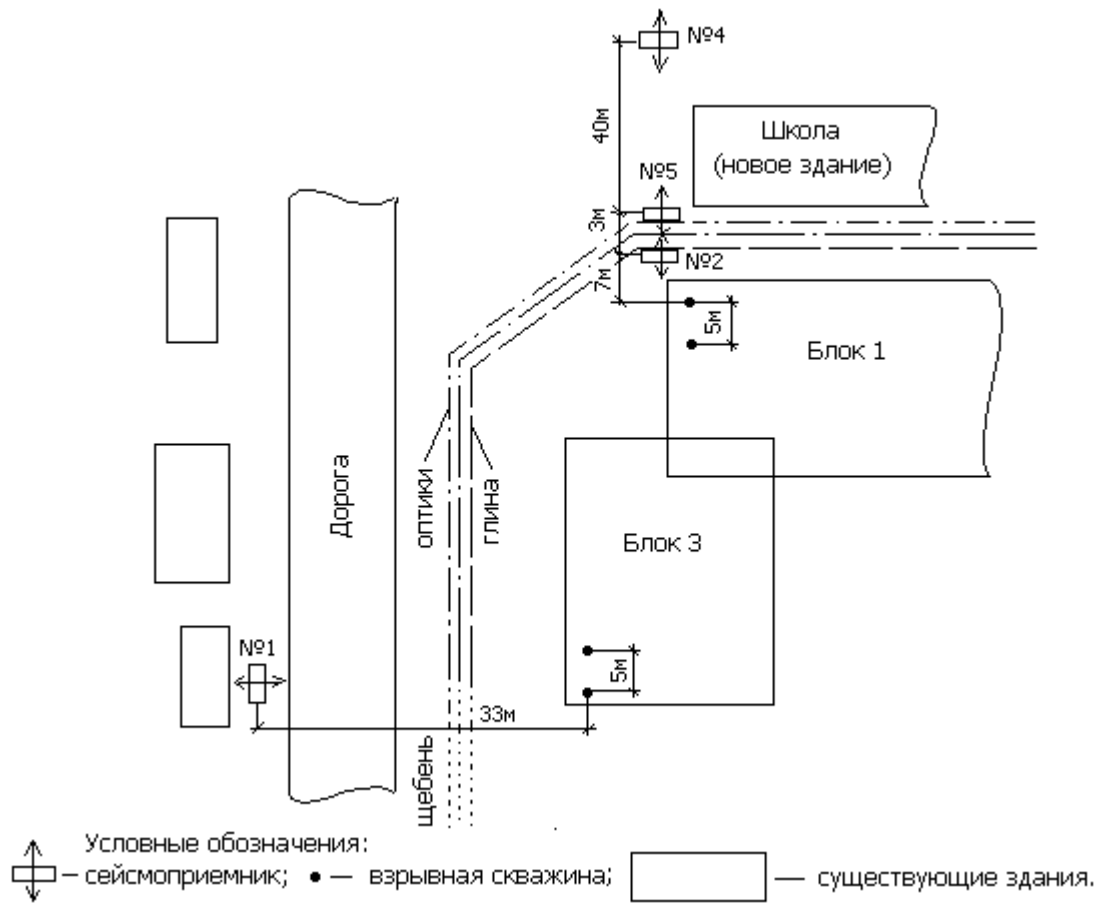


Рис. 7. Первая схема расстановки сейсмоприемников

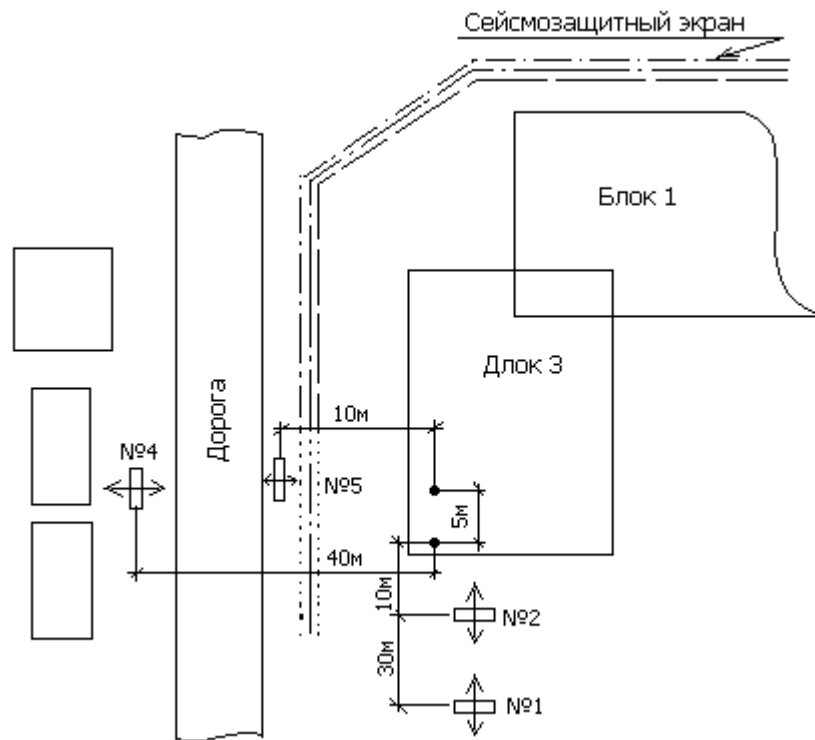


Рис. 8. Вторая схема расстановки сейсмоприемников

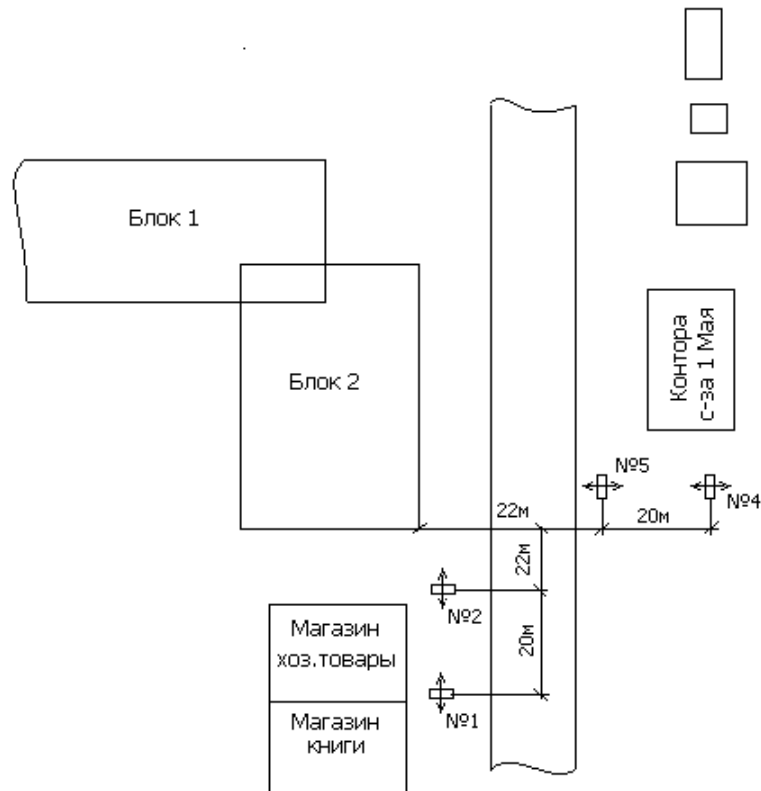


Рис. 9. Третья схема расстановки сейсмоприемников

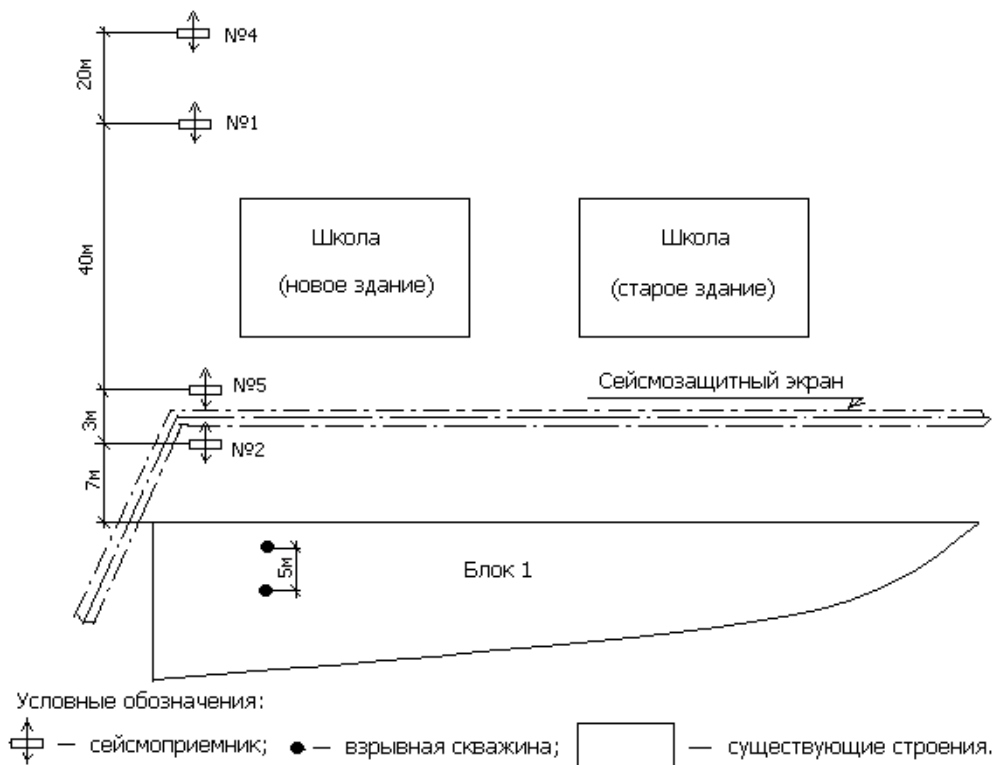


Рис. 10. Четвертая схема расстановки сейсмоприемников

Проектом производства работ предусматривалось выполнить взрывы сериями, с замедлением между взрывами в серии 50 миллисекунд. С целью оценки сейсмического эффекта от гидровзрыва на данной площадке, было выполнено четыре контрольных

одинокных взрыва. Первые две скважины были взорваны на площадке блока 1. Масса заряда взрывчатого вещества (ВВ) составила 4,9 кг в каждой скважине. В ближней зоне взрывного воздействия были установлены датчики ОСП-2М, которые в комплекте с гальванометрами МО12-10 регистрировали скорость колебаний. В дальней зоне устанавливались датчики СМ-3, которые в паре с теми же гальванометрами регистрировали виброперемещения.

Данные об интенсивности колебаний в исследуемых точках при этих и других взрывных воздействиях приведены в табл. 1. Следующие две контрольные скважины с массой ВВ 6,4 кг располагались в блоке 3. Датчики ОСП-2М №№ 5 и 2 устанавливались в ближней зоне взрывного воздействия, а датчики СМ-3 №№ 4 и 1 – в дальней зоне взрывного воздействия. На площадке блока 3 были выполнены также две серии взрывов, при массе заряда ВВ 6,4 кг, по короткозамедленной схеме.

**Таблица 1.**

**Экспериментальные данные об уровне колебаний грунта при гидровзрыве**

№ канала	Место установки датчика	Частота, $f$ , Гц	Перемещение, $a$ , мм	Скорость, $v$ , см/с	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	33 м за экраном	4,0	0,307	0,77	$m_{ВВ}=4,9$ кг Схема 1
2	7 м перед экраном	3,0	-	25,0	
4	50 м за экраном	5,0	0,328	1,03	
5	10 м за экраном	5,0	-	11,8	
1	40 м без экрана	5,0	0,481	1,51	$m_{ВВ}=6,4$ кг Схема 2
2	10 м без экрана	4,0	-	9,0	
4	40 м за экраном	5,0	0,243	0,76	
5	10 м за экраном	5,0	-	8,8	
1	40 м без экрана	5,0	0,625	1,96	$m_{ВВ}=6,4$ кг
2	10 м без экрана	5,0	-	9,6	
4	40 м за экраном	4,0	0,271	0,68	
5	10 м за экраном	5,0	-	4,6	
1	40 м без экрана	3,33	1,54	3,22	Серия $m_{ВВ}=6,4$ кг
2	10 м без экрана	3,0	-	8,6	
4	40 м за экраном	4,0	0,729	1,83	
5	10 м за экраном	3,33	-	8,0	
1	40 м без экрана	3,0	1,15	2,17	Серия $m_{ВВ}=6,4$ кг
2	10 м без экрана	3,33	-	4,6	
4	40 м за экраном	3,33	0,559	1,17	
5	10 м за экраном	4,0	-	3,6	
1	42 м у магазина	3,33	1,42	2,08	Серия $m_{ВВ}=6,4$ кг Схема 3
2	22 м у магазина	5,0	-	5,2	
4	42 м у конторы	3,33	1,02	2,13	
5	22 м у конторы	3,0	-	2,4	
1	42 м у магазина	3,33	1,39	2,92	Серия $m_{ВВ}=6,4$ кг
2	22 м у магазина	4,0	-	3,2	
4	42 м у конторы	4,0	0,50	1,26	
5	22 м у конторы	5,0	-	1,8	
1	50 м за экраном	2,5	0,827	1,30	Серия $m_{ВВ}=4,9$ кг $m_{ВВ}=6,4$ кг Схема 4
2	7 м перед экраном	3,3	-	1,56	
4	70 м за экраном	2,2	0,656	0,91	
5	10 м за экраном	4,0	-	1,8	

--	--	--	--	--	--

Следующим этапом исследования явились взрывы трех серий зарядов по короткозамедленной схеме на площадке блока 2. Масса зарядов ВВ при этом составила 6,4 кг. Один сейсмический профиль был установлен для измерения интенсивности волнового поля в направлении блока магазинов, а другой – в направлении конторы совхоза. Все датчики размещались вне зоны действия экрана.

При исследовании интенсивности волнового поля, создаваемого короткозамедленными взрывами на площадке блока 1 был реализован сейсмический профиль, схема которого представлена на рис. 10. Все скважины блока были взорваны в одной серии.

По результатам обработки записей колебаний грунта сделаны следующие выводы:

1. Распределение амплитуд скоростей колебаний грунта перед и за экраном при взрывании скважин в блоке 1 в зависимости от расстояния R от эпицентра взрыва до пункта регистрации представлено на рис.11. Анализ результатов позволяет сделать вывод об эффективности работы экрана, состоящего из двух рядов скважин, заполненных мятой глиной (ближний ряд к площадке) и опилками (дальний ряд). Такая конструкция экрана, расположенного на расстоянии 8...9 м от ближнего ряда взрывааемых скважин, позволила снизить уровень сейсмического воздействия в среднем в 1,5 раза.

2. Зависимость амплитуд скоростей колебаний грунта от расстояний от эпицентра взрыва до пункта регистрации за экраном и вне экрана при сейсмических профилях, выставленной по второй схеме, приведена на рис.12. Коэффициент экранирования сейсмозрывных волн, вычисляемых как отношение амплитуды скорости колебаний вне экрана к амплитуде скорости колебаний за экраном, изменялся от 1,02 до 2,08 на расстоянии 10 м и от 1,76 до 2,88 - на расстоянии 40 м. Частоты колебаний в грунтах как при одиночных взрывах, так и при взрывании по короткозамедленной схеме с микрозамедлением 50 миллисекунд, изменялись от 2,2 до 5,0 Гц.

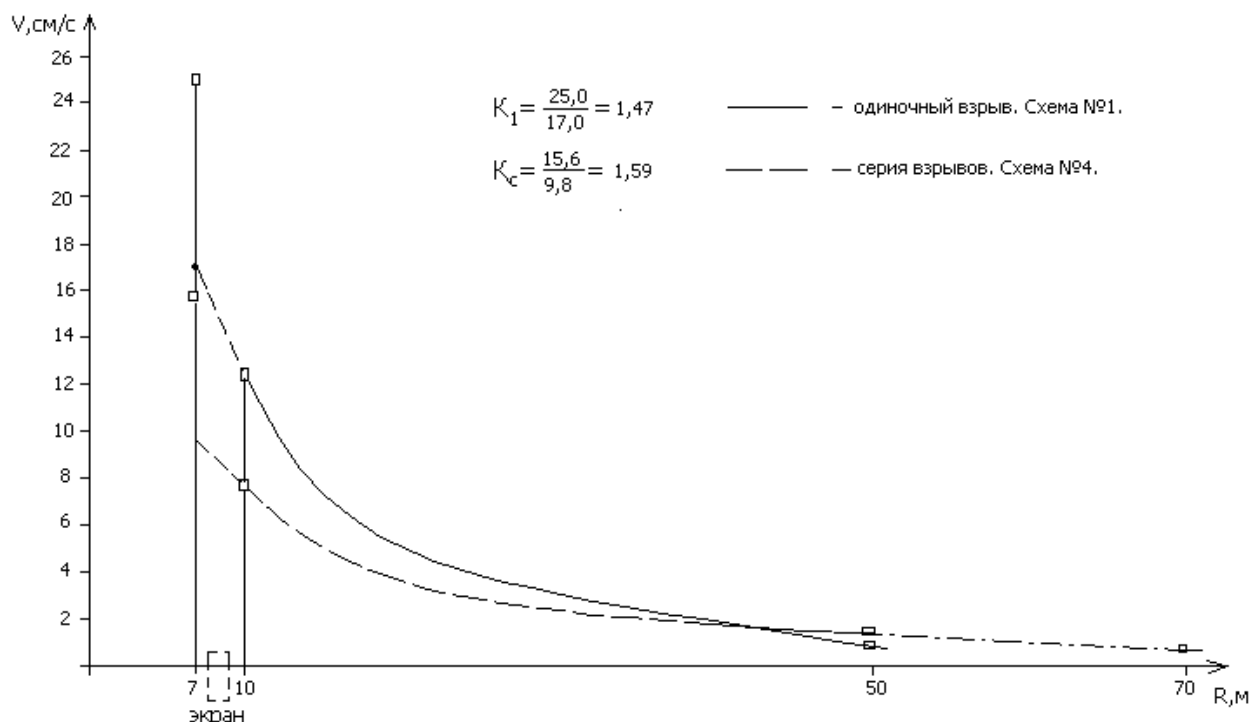


Рис. 11. Распределение амплитуд колебаний грунта с экраном и без него при взрывании блока 1. Схемы 1 и 4

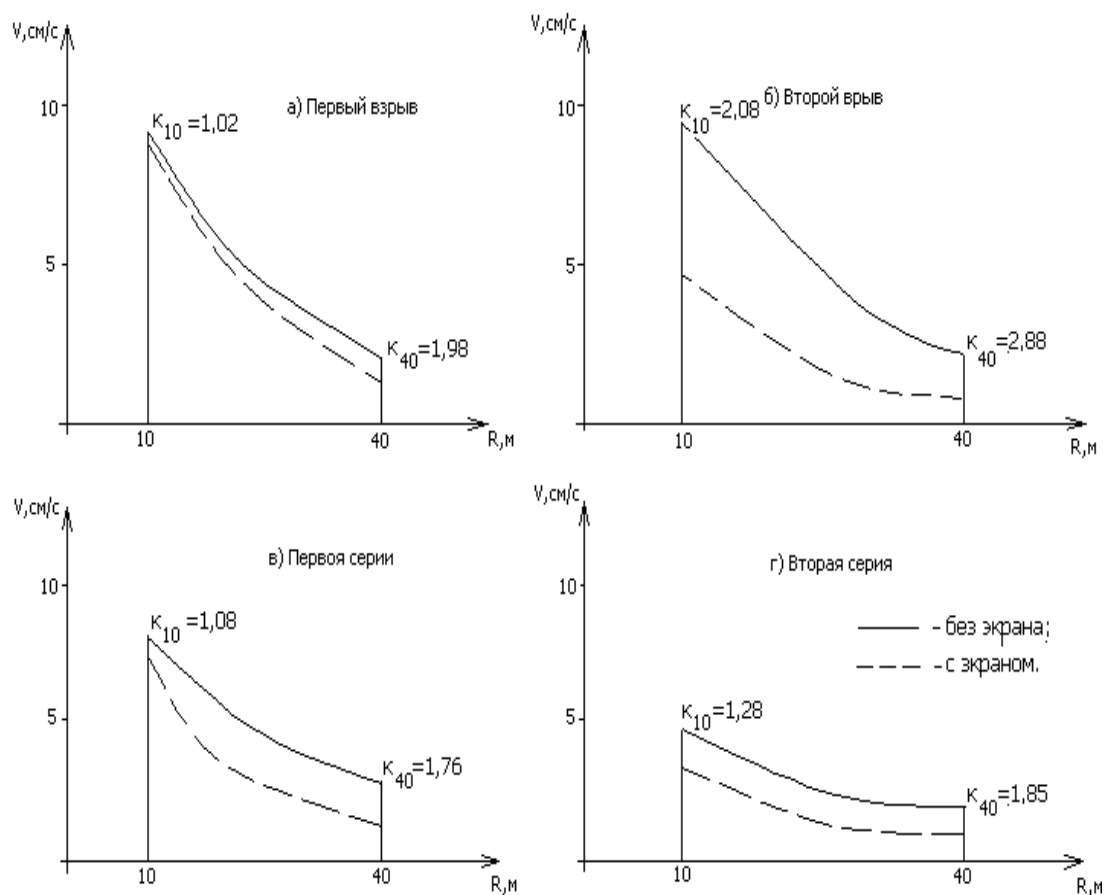


Рис. 12. Распределение амплитуд колебаний грунта с экраном и без него при взрывании блока 3. Схема №2

## 5. Применение сейсμοзащитных экранов при глубинных взрывах в г. Волгодонске (Российская Федерация)

Типичной по геологическим условиям для данного региона является площадка под Дворец культуры, на которой проводились работы по уплотнению лессовых просадочных грунтов методом гидровзрыва. Под почвенно-растительным слоем толщиной 0,5-0,6 м залегает мощный слой желто-бурых лессовидных суглинков, до глубины 16,2-16,7 м просадочных, ниже, до глубины 19,6-20,8 м – не просадочных. Ниже слоя суглинков залегает слой зеленовато-серых глин твердой и полутвердой консистенции. На отметках 21,1-23,6 м располагается слой желтовато-серых, пылеватых, водонасыщенных песков средней плотности сложения. Уровень грунтовых вод находится на глубине 16,1 м и имеет тенденцию к сезонному и постоянно-неуклонному повышению. По просадочным свойствам грунты застраиваемого региона г. Волгодонска относятся к грунтам II типа просадочности.

Применение сейсμοзащитных экранов двух типов (в форме линзы и прямого угла) из двух рядов пустотелых скважин в грунте (рис.13 и 14) позволил снизить интенсивность колебаний грунта при воздействиях глубинных взрывов от 1,2 до 1,7 раза.

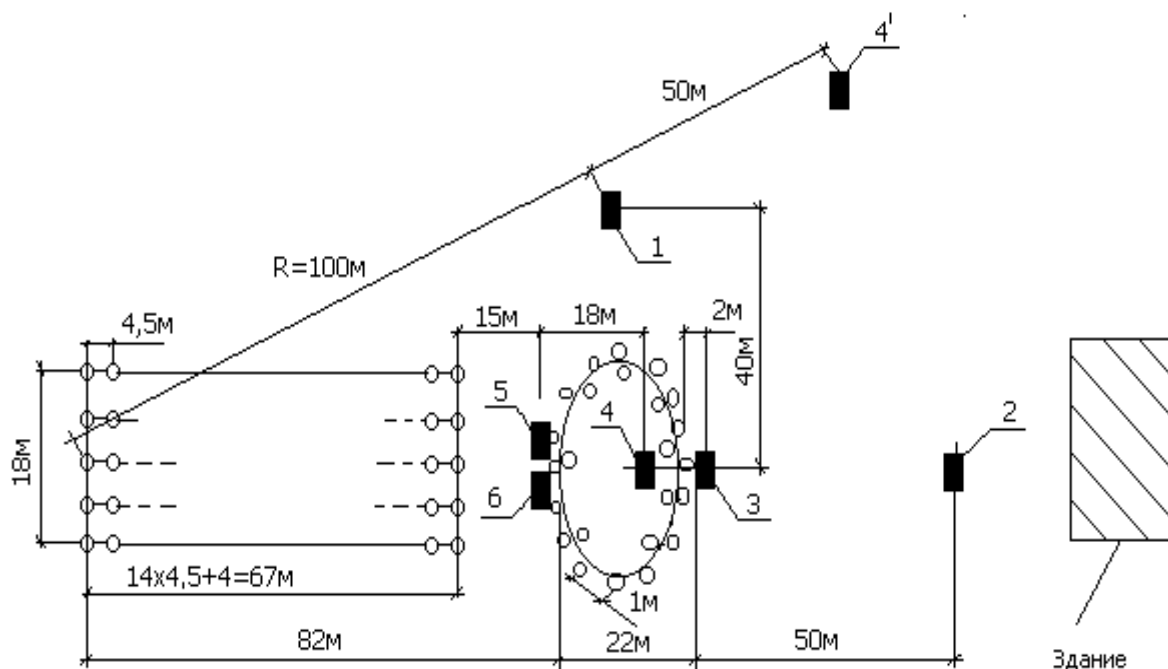


Рис. 13. Сейсмозащитный экран в форме линзы при уплотнении основания дома №328 в Волгодонске (1, 2, 3, 4, 5 – сейсмоприемники марки СМ-3; 6 – сейсмоприемник марки ОСП-2М)

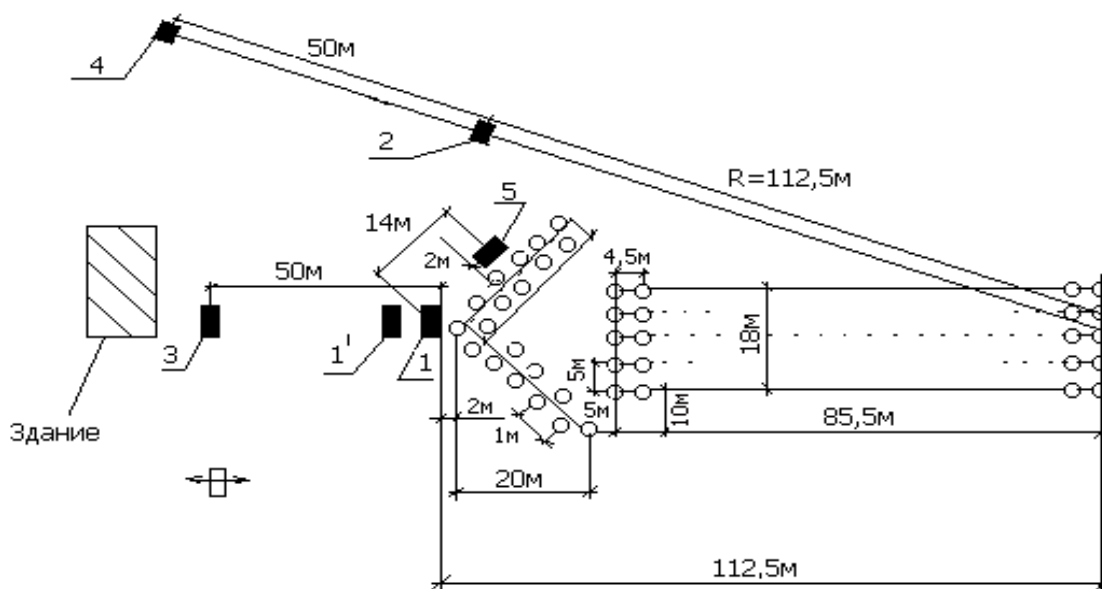


Рис. 14. Сейсмозащитный экран в форме прямого угла при гидровзрывном уплотнении основания дома №320,а в г. Волгодонске (1,2,3,4,5 – сейсмоприемники марки СМ-3)

### Выводы:

- 1) Анализ инженерных методов защиты сооружений от воздействия сейсмических волн показывает, что одним из перспективных и малоизученных инженерных методов защиты являются экраны;
- 2) Системный анализ известных технических решений по созданию скважинных сейсмозащитных экранов показал, что их в целом образуют в виде цилиндрических



полостей (вертикальных и наклонных), которые в большинстве случаев заполняют, поглощающим разрушительную часть энергии сейсмических колебаний, материалом;

- 3) Разработаны инженерные способы уплотнения массивов лёссовых просадочных суглинков с применением жестких защитно-отражающих экранов. В разработанных способах уплотнения массивов просадочных суглинков в застроенных территориях экраны создают перед увлажнением массива. Это достигается закреплением по контуру уплотняемого участка через дно контурных траншей до конца просадочного слоя инъекцией вяжущего раствора, термическим обжигом, замораживанием;
- 4) Проведенные экспериментальные исследования сейсмических воздействий на здания при производстве взрывов, с целью гидровзрывного уплотнения лёссовых просадочных грунтов, подтвердили эффективность различных разработанных конструкций и схем расположения сейсмозащитных экранов. Применение сейсмозащитного экрана позволило разработать рекомендации и выполнять глубинные взрывы с массой взрывчатого вещества 5 кг на расстояниях 11 м до существующего строительного объекта в городах Запорожье и Волгодонск.

#### Литература

1. Литвинов И.М. (1977). Укрепление и уплотнение просадочных грунтов в жилищном и промышленном строительстве. Киев: Будивельник, 288 с.
2. Рыжов А.М. (1995). Введение в нелинейную механику грунтов и физическое моделирование оснований. Запорожье: РИП «Видавец», 448 с.
3. Габибов Ф.Г. (1999). Проблемы регулирования свойств структурно-неустойчивых глинистых грунтов в основаниях сооружений. Баку: «ЭЛМ», 287 с.
4. Рекомендации по уплотнению просадочных грунтов большой мощности гидровзрывным методом. (1984). М.: Стройиздат. 56 с.
5. Габибов Ф.Г., Баят Х.Р., Данялов Ш.Д., Гаджиметов Г.Н. (2012). Скважинные экраны для защиты от воздействия сейсмических волн. International scientific-practical conferece “Modern problems struggle against emeregency situation in connetction with globalization”, Baku, p. 104-111.
6. Кранцфельд Я.Л. (2011). О конструктивных решениях экранов для инженерной сейсмозащиты территории объектов строительства. «Основания, фундаменты и механика грунтов», №3, М., с.13-16.
7. ASCE-4-98. (2000). Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary, USA.
8. Уздин А.М., Фрезе М.В. (2011). Об эффективности применения экранов в грунте для сейсмозащиты зданий и сооружений. «Основания, фундаменты и механика грунтов», №3, М., с. 17-19.
9. Габибов Ф.Г. (2010). Защитно-отражающие экраны при глубинном уплотнении просадочных суглинистых грунтов гидровзрывами. «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», №4, М., с.51-53.
10. Ляхов Р.М. (1964). Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах. М.: Недра, 216 с.
11. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П., Челышев В.П., Шехтер Б.И. (1975). Физика взрыва. М.: Наука, 704 с.
12. СНиП 2.02.01-83. (1985). Основания зданий и сооружений. М.: Стройиздат.
13. РСН 349-88. (1988). Уплотнение просадочных грунтов замачиванием и глубинными взрывами. Киев, 88 с.

14. ДБН 360-92\*\*. (1992). Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – Киев: Минстрой Украины.
15. СН № 1304-75. (1975). Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах. М.: Минздрав.
16. Габиров Ф.Г., Шокарев В.С., Шокбаров Е.М. Использование энергии землетрясений при глубинном уплотнении лессовых просадочных суглинков гидровзрывами. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2022. – № 1 (13). – С.14-19.
17. Габиров Ф.Г., Зейналов А.З., Амрахов А.Т. Учет сейсмичности района при разработке паспортов устойчивости Байловского оползневого склона города Баку. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 1 (9). – С.24-29.
18. Немчинов Ю.И., Фаренюк Г.Г. Опыт высотного строительства Украины с учётом рекомендаций международных норм. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 1 (9). – С.64-69.