Секция «Строительство», научный руководитель – Щербакова Н.А.

УДК 624.15

ФУНДАМЕНТЫ В УСЛОВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Шошитаишвили Н.Г.

Московский государственный строительный университет, Москва, e-mail: nata9696@list.ru

Сейсмическими явлениями или землетрясениями называют колебательные движения земной коры в результате проявления внутренних сил земли. В основном, такие воздействия на фундаменты зданий и сооружений обусловлены тектоническими разломами и другими процессами в земной коре. От гипоцентра во всех направлениях распространяются упругие колебания, которые характеризуются сейсмическими волнами: продольными (от них происходит сжатие и растяжение) и поперечными (влекут за собой сдвиг). Кроме того, от эпицентра по поверхности земли распространяются во все стороны поверхностные волны, приводящие к наиболее сильным вертикальным колебаниям поверхностного слоя, что вызывает колебания зданий и сооружений и появление сил инерции, от чего происходит разрушение либо части здания, либо всего здания целиком.

Ключевые слова: сейсмические явления, сейсмические воздействия, землятресения, тектонические разломы земной коры

THE BASES IN THE CONDITIONS OF SEISMIC AND DYNAMIC VOKHDEYSTVIYA

Shoshitaishvili N.G.

Moscow state construction university, Moscow, e-mail: nata9696@list.ru

The seismic phenomena or earthquakes call oscillating motions of crust as a result of manifestation of internal forces of the earth. Generally such impacts on the bases of buildings and constructions are caused by tectonic breaks and other processes in crust. From the hypocenter in all directions elastic fluctuations which are characterized by seismic waves extend: longitudinal (from them there is a compression and stretching) and cross (involve shift). Besides, from epicenter on the Earth's surface the superficial waves leading to the strongest vertical fluctuations of a blanket that causes fluctuations of buildings and constructions and emergence of forces of inertia what there is a destruction of either a part of the building, or all building entirely from extend extensively.

Keywords: seismic phenomena, seismic influences, earthquakes, tectonic breaks of crust

Сейсмические воздействия на фундаменты зданий и сооружений обусловлены землетрясениями, происходящими в результате тектонических разломов и других процессов в земной коре. От гипоцентра во всех направлениях распространяются упругие колебания, характеризуемые сейсмическими волнами: продольными (сжатия и растяжения) и поперечными (сдвиговые, перпендикулярные продольным). Кроме того, от эпицентра по поверхности земли распространяются во все стороны поверхностные волны, приводящие к наиболее сильным вертикальным колебаниям поверхностного слоя [1].

Вертикальные колебания существенны для сооружений вблизи эпицентра землетрясения. По мере удаления от него они затухают значительно быстрее горизонтальных, поэтому основную опасность представляют горизонтальные колебания. Продолжительность землетрясений чаще всего измеряется несколькими секундами и реже минутами.

Силу землетрясения оценивают в баллах. В России принята 12–балльная шкала. Список населенных пунктов, расположенных в сейсмических районах страны, с указанием принятой для них сейсмичности в баллах и повторяемости сейсмического воздействия приведен в СНиП II-7–81* «Строительство в сейсмических районах» [2].

Вся территория России поделена на отдельные районы по сейсмичности, но даже в пределах одного района сейсмичность может быть различной в зависимости от грунтовых условий.

Сейсмическое воздействие – движение грунта, вызванное природными или техногенными факторами (землетрясения, взрывы, движение транспорта, работа промыш-

ленного оборудования), обусловливающее движение, деформации, иногда разрушение сооружений и других объектов.

Сейсмическая (инерционная) сила, сейсмическая нагрузка – ила (нагрузка), возникающая в системе «сооружение-основание» при колебаниях основания сооружения во время землетрясения [3].

Сейсмические воздействия, как и любые динамического характера нагрузки на основания сооружений, приводят к изменению свойств грунтов: увеличиваются сжимаемость, особенно несвязных грунтов; уменьшается их предельное сопротивление сдвигу. При определенных условиях может происходить разжижение водонасыщенных песчаных грунтов оснований, приводящее к полному исчерпыванию их несущей способности. Эти изменения строительных свойств грунтов и специфический характер взаимодействия сооружения с основанием определяют особенности проектирования фундаментов в условиях сейсмики. По действующим в России нормам, сейсмические воздействия учитываются при проектировании зданий и сооружений в районах с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов. На площадках, сейсмичность которых превышает 9 баллов, возводить сооружения, как правило, не допускается [4].

Основное требование сейсмостойкости фундаментов состоит в том, чтобы при совместном действии на них обычных нагрузок и сейсмических сил фундаменты не разрушились, не сдвигались и не опрокидывались, а основание не теряло устойчивости, тем самым обеспечивая общую устойчивость и прочность системы «сооружение – основание». К сейсмическим силам относятся силы взаимодействия между грунтом основания, испытывающим колебания при землетрясениях, и сооружением. По природе они являются инерционными, по характеру – динамическими. Величина сейсмической нагрузки зависит не только от интенсивности колебаний, но и от динамических характеристик сооружения и его собственных колебаний, обусловленных начальными условиями движения грунта.

Расчет оснований и фундаментов сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок (с учетом сейсмических воздействий). Особое сочетание нагрузок определяется с учетом коэффициентов сочетаний K_c, равных для постоянных нагрузок 0,9, временных длительных – 0,8 и кратковременных (на перекрытия и покрытия) – 0,5 [5].

При этом не учитываются горизонтальные нагрузки от масс на гибких подвесках, температурные климатические воздействия, ветровые нагрузки, динамические воздействия от оборудования и транспорта, тормозные и боковые усилия от движения кранов.

При определении расчетной вертикальной сейсмической нагрузки необходимо учитывать массу моста крана, тележки, а также массу груза, равного грузоподъемности крана с коэффициентом 0,3. Горизонтальную сейсмическую нагрузку от массы мостового крана учитывают в направлении, перпендикулярном к оси подкрановых балок. При этом снижение крановых нагрузок, рекомендуемое СНиП по нагрузкам и воздействиям, не учитывается.

Основания и фундаменты рассчитывают на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий исходя из того представления, что сейсмические нагрузки могут иметь любое направление в пространстве. Действие сейсмических нагрузок в рассматриваемых направлениях принимают отдельно и определяют по формуле.

При расчете подпорных стенок учитывают раздельно сейсмическое давление грунта и давление, вызванное изменением напряженного состояния фунтовой среды при прохождении в ней сейсмических волн (продольных и поперечных). Активное q_a и пассивное q_p давление грунта на подпорные стенки с учетом сейсмического воздействия определяются по формулам Далматова [6].

$$q_a = \left[1 + K_c \mathrm{tg}\left(45 + \frac{\varphi_1}{2}\right)\right]\sigma_a;$$

$$q_p = \left[1 - K_c \mathrm{tg}\left(45 - \frac{\varphi_1}{2}\right)\right]\sigma_p;$$

где K – коэффициент сейсмичности, значение которого принимают 0,025: 0,05 и 0.10 соответственно для расчетной сейсмичности 7,8 и 9 баллов; φ – расчетный угол внутреннего трения при расчете по устойчивости; q_a и q_p – активное и пассивное давление грунта при статическом состоянии.

Одним из общих принципов обеспечения сейсмостойкости сооружений является принцип монолитности и равнопрочности всех элементов зданий и сооружений. Поскольку при прохождении сейсмической

волны поверхность основания может испытывать растяжение в том или ином направлении, целесообразно колонны каркасных зданий располагать на сплошных фундаментных плитах, перекрестных ленточных фундаментах или соединять отдельные фундаменты и свайные ростверки железобетонными балками-связями (рис. 1).

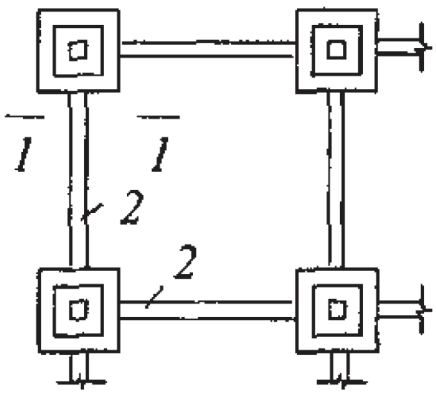


Рис. 1

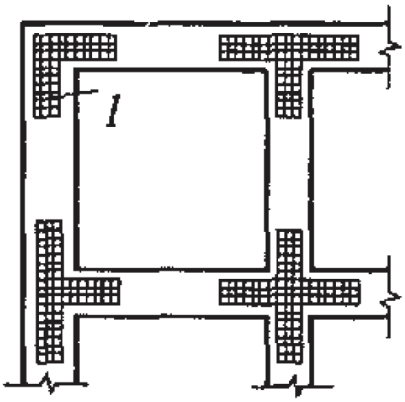


Рис. 2

В фундаментах и стенах подвалов из крупных сборных блоков нужно производить перевязку блоков в каждом ряду, пересечения стен усиливать путем закладки в горизонтальные швы арматурных сеток, по верху сборных фундаментов (подушек) предусматривать железобетонные пояса (рис. 2). Продольные железобетонные пояса должны быть связаны поперечными железобетонными стойками.

Для зданий повышенной этажности также следует применять монолитные железобетонные ленточные, сплошные плитные фундаменты и фундаменты из перекрестных лент. В зданиях выше 9 этажей необходимо предусматривать монолитный вариант подземной части (рис. 3).

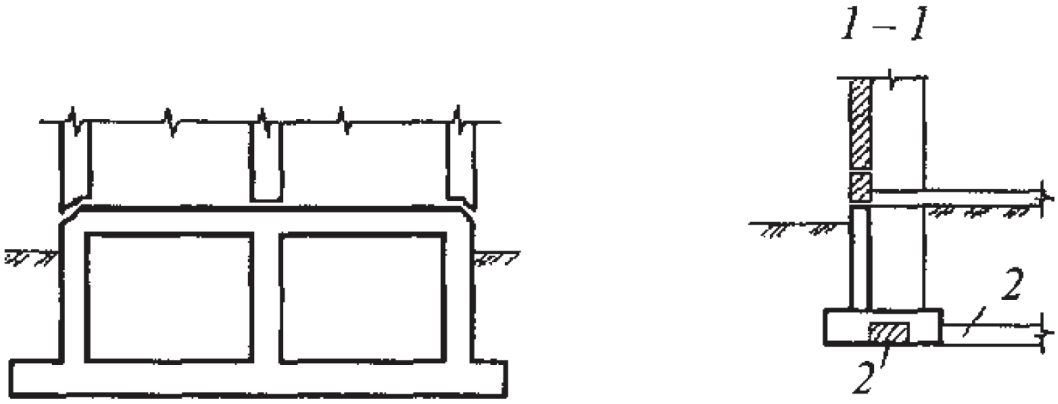


Рис. 3

Рис. 1,2,3. Конструкции фундаментов при сейсмических воздействиях: 1 – план ленточного фундамента; 2 – план и разрез отдельных (столбчатых) фундаментов; 3 – подвальная часть здания с плитным фундаментом из монолитного железобетона; 1 – арматурные сетки; 2 – железобетонные балки-связи

В условиях сейсмики применяют как забивные, так и набивные сваи. Набивные сваи рекомендуется устраивать в маловлажных связных грунтах при диаметре свай не менее 40 см и отношении их длины к диаметру не менее 25. В структурно-неустойчивых грунтах применять набивные сваи можно только с обсадными неизвлекаемыми трубами. Армирование набивных свай является обязательным при минимальном относительном армировании, равном 0,05.

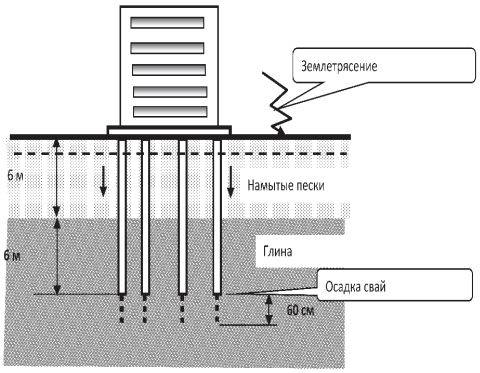
В сейсмических районах нашли применение свайные фундаменты с промежуточной распределительной песчаной подушкой (рис. 4). Для того, чтобы свайные фундаменты с промежуточной подушкой обеспечивали распределение сейсмических нагрузок, необходимы определенные соотношения между размерами свай, оголовков и промежуточной подушки. В связи с этим толщина подушки над оголовками свай назначается в зависимости от расчетной нагрузки на одну сваю и составляет 40 см при нагрузке 600 кН и 60 см – при нагрузках более 600 кН. Размеры фундаментного блока в плане должны быть не менее размеров свайного куста по наружным граням оголовков. Размеры промежуточной подушки в плане принимают больше размеров фундаментного блока не менее чем на 30 см в каждую сторону.

Чем могут быть вызваны динамические воздействия на сооружения?

Причины могут быть различными: уплотнение грунта трамбовками, забивка свай и шпунта, работа машин с неуравновешенно вращающимися частями – компрессоров, лесопильных рам, прокатных станов, копров, мельниц; движение наземного и подземного транспорта; порывы ветра, сейсмические воздействия, взрывы и др.

Виды динамических воздействий

• Сейсмические воздействия. При землетрясении, в результате осадков, песчаная толща увлекла за собой сваи, вдавив их в подстилаемую глинистую толщу (явление отрицательного трения). Осадка сооружения превысила все допустимые величины



• Динамические воздействия от движения транспорта. При движении тяжелого транспорта (железнодорожные, трамвайные

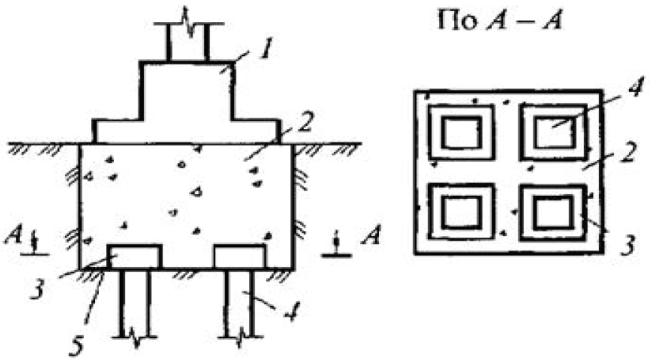


Рис. 4. Свайный фундамент с промежуточной подушкой:
I – фундаментный блок: 2 – промежуточная подушка: 3 – железобетонный оголовок;
4 – железобетонная свая; 5 – дно котлована

пути) создается вибрационный фон, который передаваясь по грунтовой среде, оказывает негативное воздействие на здания, сооружения. Вибрационные воздействия от движущегося транспорта могут превышать допустимый уровень вибрации по санитарным нормам проживания людей в здании.

• Забивка свай. В соответствии со строительными правилами забивка свай в городах на расстоянии ближе 30 м от существующей застройки запрещена.

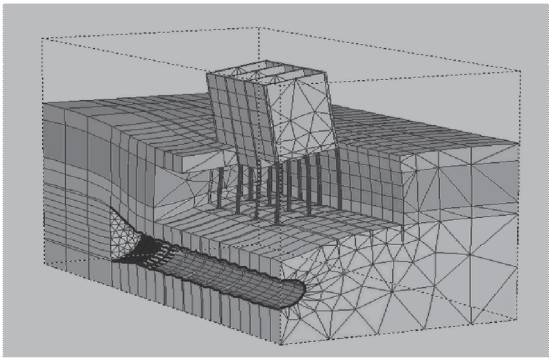
При динамических воздействиях:

– пески уплотняются, разжижаются;

– глины проявляют тиксотропные свойства.

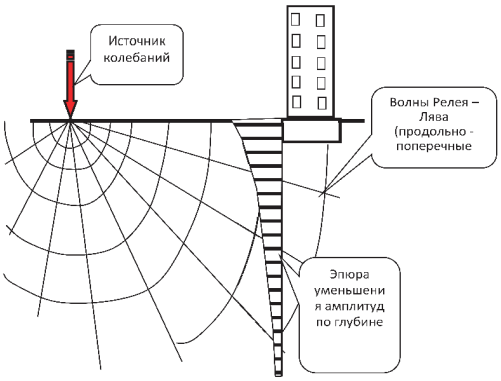
• Взрывы.

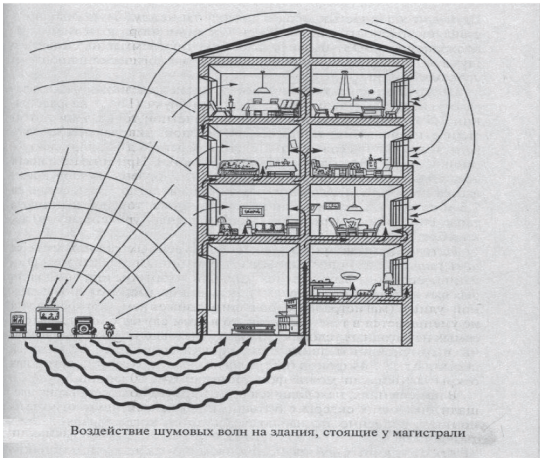
• Работа машин, механизмов (строительство промышленных объектов, где возможны динамические воздействия: молоты, прессы, компрессоры, фундаменты пилорам и т.д.).



Динамические нагрузки могут прикладываться как к сооружению (воздействие ветра на высокое здание, прибоя на набережную), так и непосредственно к основанию (сейсмические толчки, строительные работы, связанные с уплотнением или разрыхлением грунта, в том числе с помощью взрывов, забивки свай и т. п.). Однако ввиду того, что все сооружения так или иначе контактируют с грунтом, расчеты на динамические воздействия производятся как для сооружений, так и для грунтов. При этом для тех и других должны быть выполнены условия прочности, а динамические перемещения, скорости и ускорения должны быть в допустимых пределах.

Распространение волн. Величина распространения колебаний в грунте зависит от источника колебаний и состояния среды. Любое сооружение, попавшее в зону вибрации, начинает само вибрировать. Опасны резонансные явления, т.е. совпадение собственных частот колебаний с вынужденными колебаниями в грунтовой среде [5, 4].




Воздействие шумовых волн на здания, стоящие у магистрали

Как известно, для сред, сопротивление сдвигу которых отлично от нуля, характерно наличие как продольных, так и поперечных волн, распространяющихся с разными скоростями. При существовании поверхностей раздела (твердое тело – воздух, жидкость, твердое тело) вдоль них распространяются поверхностные волны. Последние могут быть как волнами Рэлея, так и волнами Лява, если область, примыкающая к поверхности раздела, состоит из двух физически различных областей, то есть слоистая.

Результатом передачи грунтом колебаний на сооружение являются колебательные движения как отдельных конструкций, так и сооружения в целом. Даже при очень малых (в доли микрона) амплитудах колебаний конструкций их сколько-нибудь продолжительное воздействие на человеческий организм может быть неблагоприятным, что требует ограничения амплитуд. Такое же

или даже более строгое ограничение предъявляют некоторые современные производства. При совпадении частот колебаний грунта с собственными частотами конструкций зданий возможны явления резонанса, представляющего угрозу прочности всего сооружения.

Резонанс – это совпадение собственной частоты колебаний системы с частотой вынужденных ее колебаний. Амплитуда колебаний всей системы при этом возрастает, иногда резко.

Сопровождается резким возрастанием амплитуды колебаний всей системы.

Виброкомпрессия несвязных грунтов – это их дополнительное уплотнение при вибрационных или часто повторяющихся ударных нагрузках. При увеличении частоты вибрации перемещение частиц напоминает явление ползучести и называется виброползучестью. При увеличении частоты колебаний возможно виброразжижение грунта [2].

Однако! Глинистые грунты ввиду наличия связности более устойчивы к динамическим воздействиям, чем песчаные. Однако при пластичной и текучей консистенции этих грунтов динамические нагрузки могут

Именно под воздействием резонанса разрушались такие масштабные сооружения, как мост через реку Такома в США, Египетский мост в Питере. Он рухнул на лёд Фонтанки в 1905 году, когда по нему проходил эскадрон гвардейской кавалерии, навстречу которому двигались 11 саней с возницами [3]. Именно поэтому для военных существует неписаный закон: не ходить «в ногу» по мостам, чтобы уменьшить вероятность возникновения резонанса.

Для рыхлых несвязных грунтов характерно явление виброкомпрессии.

вызывать разрушение их структуры, что необходимо исключать при проектировании и строительстве.

Вместе с тем необходимо отметить, что наблюдаемые при сильных землетрясениях явления разжижения песков и разрушения структуры связных грунтов не могут исчерпывающе объяснять случаи опрокидывания жестких зданий, принимающих после окончания сейсмических толчков почти горизонтальное положение [6].

Какие виды фундаментов рекомендуется применять при наличии динамических нагрузок?

Применяются фундаменты мелкого заложения и свайные. Они могут быть монолитными, сборно-монолитными и сборными. Статические нагрузки на такие фундаменты от оборудования обычно небольшие. Практически применяют фундаменты массивные в виде плиты или блока, стенчатые из поперечных и продольных стен, связанных с фундаментной плитой, и рамные, представляющие пространственную конструкцию из верхней плиты, балок и стоек, опирающихся на фундаментную плиту. Для машин ударного действия с боль-

шими нагрузками применяют массивные фундаменты, а для других – облегченные фундаменты [2, 4].

Машина вместе с фундаментом представляет жесткое тело с массой, расположенной в центре тяжести действующих статических нагрузок. В расчетах основание не имеет массы и деформируется упруго вязко. Пружины деформируются упруго, а поршни с цилиндрами воспроизводят вязкое сопротивление. Действующие усилия раскладываются на вертикальную и две горизонтальных составляющих, а также на три момента. Считается, что эти воздействия вызывают соответственно три линейных перемещения и три поворота в соответствующих плоскостях [5].

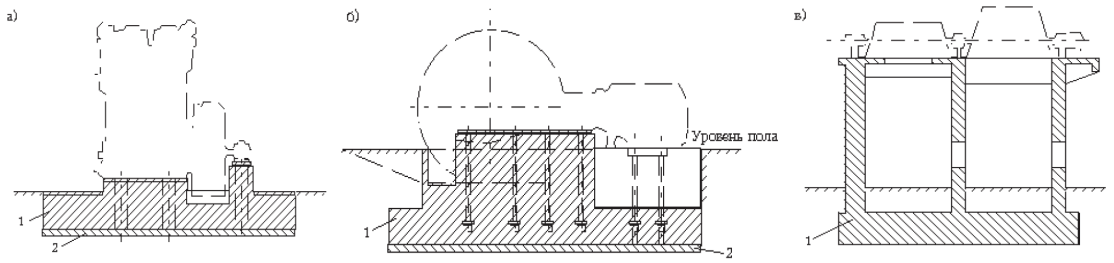


Рис. 5. Примеры устройства фундаментов под машины:
а – фундамент под вертикальный компрессор (плита в плане 3′ 4,2 м); б – фундамент под горизонтальный компрессор (плита в плане 4,4′ 7,6 м, заглублена на 2,0 м); в – стенчатый массивный фундамент под мотогенератор (расположен на высоте 6,3 м, размеры в плане 4 × 7,9 м): 1 – плита; 2 – подготовка

Фундаменты обычно проектируются отдельными, под каждую машину или группу машин. От фундаментов зданий фундаменты машин отделяются швами. Целесообразно предусматривать виброизоляцию механизмов и машин, гасящую импульсы. Прецезионное оборудование, требующее спокойного режима, отделяется от остального массива и в данном случае гасящие устройства носят оградительный характер [1].

При наличии слабых грунтов толщиной до 1,5 м производится их замена, а при большей мощности – укрепление или устройство свайных фундаментов. Подошва фундаментов обычно прямоугольная в плане, а смежные фундаменты следует закладывать на одной отметке. Среднее давление под подошвой фундамента должно быть меньше расчетного сопротивления R, вычисленного обычным способом, умноженного на два понижающих коэффициента, один из которых зависит от вида грунта, а второй от вида машины. Это произведение изменяется от 1 до 0,35.

Фундаменты должны быть запроектированы таким образом, чтобы обеспечить нормальную работу машины и исключить влияние вибрации на конструкции и оборудование. Фундаменты рассчитывают на действие статических и динамических нагрузок. К статическим нагрузкам относят: вес фундамента, вес грунта на уступах фундамента, вес машины, вес оборудования. Динамические нагрузки могут быть периодические, импульсные, ударные, случайные. Также могут быть длительные и кратковременные. Значение динамических нагрузок и частично статических, определяется заводом-изготовителем в техническом задании на проектирование.

Список литературы

1. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7–81*
2. Берлинов М.В. Основания и фундаменты, 1999 (2011).
3. Справочник проектировщика. Основания и фундаменты, 1964.
4. Сорочан А. Основания, фундаменты и подземные сооружения, 1985.
5. Фундаменты при динамических воздействиях и в условиях сейсмики [Электронный ресурс]. – URL: http://cozyhomestead.ru/Pochva_8795.html. html (дата обращения: 19.01.2018).
6. Фундаменты при сейсмических воздействиях [Электронный ресурс]. – URL: https://studfiles.net/preview/6016741. html (дата обращения: 19.01.2018).