

УДК: 624.131.2+550.34

<https://dx.doi.org/10.36522/2181-9637-2019-6-7>

ГРУНТЛАРНИНГ СЕЙСМИК ХУСУСИЯТЛАРИ БЎЙИЧА ЯНГИ ТАСНИФЛАНИШ ВЕРСИЯСИ

Исмаилов Вахитхан Алихановичгеология-минералогия фанлари доктори,
катта илмий ходим, илмий ишлар бўйича директор муовини**Исламова Нилуфар Файзуллаевна**

тадқиқотчи-стажер

Тешаева Рухсора Баходир кизи

муҳандис

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси
Ғ.О. Мавлонов номидаги Сейсмология институти

Аннотация. Мақолада қурилиш майдонларидаги сейсмикликни баҳолашда грунтларнинг турли хил параметрлари таъсири кўп йиллик инженер-геологик, макросейсмик ва геофизик тадқиқот натижалари (1991–2019 йй.) билан умумлаштирилди. Бугунги кун амалиётида қурилиш майдонларидаги бино ва иншоотларнинг сейсмик ҳолати грунтлар турлари ва уларнинг физик-механикавий кўрсаткичлари ҳамда сейсмик хусусиятларига қараб белгиланмоқда. Жумладан, майдонда III категория груноти бўлса, сейсмиклик I баллга ортади, аксинча, I категория груноти бўлса, I баллга камаяди. Грунтлар сейсмик хусусиятларига кўра, категориялари бўлиш тасдиқланган қурилиш меъёри асосида ажратилган. Амалдаги Ўзбекистоннинг «Қурилиш меъёри ва қоидалари» (2.01.03-96 1.1-жадвал) баъзи бир ноаниқликлардан, яъни грунт хусусиятларни белгилашдаги хатоликлар, сейсмик баллни аниқлашдаги янглишишлар, ташиқи муҳит таъсирининг ҳисобга олинмаганлиги ва бошқалардан иборат бўлганлиги сабабли амалдаги тасниф мукамал эмас. Қўндаланг тўлқин тарқалиш тезлиги грунтларда сейсмик қаттиқлиги ва мустаҳкамлигининг физик-механикавий хусусиятларига кўра асосий кўрсаткичлари аниқланди. Грунтларнинг бино ва иншоотларга нисбатан қуйида қайд этилган камчиликларини ҳисобга олган ҳолда грунт категорияларини 4 та турга ажратиш асослаб берилди ва мақолада таснифнинг янги версияси сейсмик хусусиятларига кўра ишлаб чиқилди.

Таянч тушунчалар: грунт таснифланиши, сейсмиклик, сейсмик тебраниши, макросейсмик ҳолат, корреляцион усул, дисперс грунт, бино шикастланиши, инженер-геологик шароит.

О НОВОЙ ВЕРСИИ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

Исмаилов Вахитхан Алихановичдоктор геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник, заместитель директора по науке**Исламова Нилуфар Файзуллаевна**

стажер-исследователь

Тешаева Рухсора Баходир кизи

инженер

Институт сейсмологии имени Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан

Аннотация. В статье обобщены результаты многолетних инженерно-геологических, макросейсмических и геофизических исследований (1991–2019 гг.) по оценке влияния параметров различных типов грунтов на сейсмическую интенсивность площадки строительства. В практике проектирования зданий и сооружений сейсмичность площадки строительства уточняется в зависимости от типов грунтов и показателей их физико-механических и сейсмических свойств. При этом сейсмическая интенсивность увеличивается на 1 балл, если на площадке развиты грунты III категории, или уменьшается на 1 балл, если развиты грунты I категории. Определение категории грунтов по сейсмическим свойствам осуществляется на основе утвержденных строительных норм. Существующие строительные нормы КМК 2.01.03-96 «Строительные нормы и законы», разработанные в 1996 г., включают классификацию грунтов по сейсмическим свойствам, которая не отвечает современным требованиям качественного проектирования сейсмостойких зданий и сооружений. В статье рассматриваются новые подходы выделения категорий грунтов по сейсмическим свойствам. Основными показателями определены: скорости распространения поперечных волн, сейсмическая жесткость, прочностные характеристики и показатели, определяющие физико-механические свойства грунтов. Обоснованы выделение четырех категорий грунтов и необходимость учета при выборе категорий грунтов класса ответственности зданий и сооружений. Учитывая имеющиеся недостатки в существующей классификации, в статье предлагается новая классификация грунтов по сейсмическим свойствам.

Ключевые слова: классификация грунтов, сейсмические свойства, сейсмические колебания, макросейсмическое исследование, корреляционный анализ, дисперсные грунты, повреждение зданий, инженерно-геологические условия.

NEW SOIL CLASSIFICATION BASED ON SEISMIC PROPERTIES

Ismailov Vahitkhan Alikhanovich

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher,
Deputy Director for Science

Islamova Nilufar Fayzullayevna

Researcher

Teshayeva Rukhsora Bahodir qizi

Engineer

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Institute of
Seismology named after G.A. Mavlyanov.

Abstract. The article summarizes the long term results of engineering-geological, macroseismic and geophysical studies (1991–2019) to assess the influence of the parameters of various types of soils on the seismic intensity of the construction site. According to the practice of designing buildings and structures, the seismicity of the construction site is specified depending on the types of soils and the indicators of their physical, mechanical and seismic properties. At the same time, seismic intensity increases by 1 point if category III soils are developed on the site or decreases by 1 point in case of category I soils. The determination of the soil categories by seismic properties is carried out on the basis of approved building standards. The existing building codes in Uzbekistan «Building Codes and Laws- 2.01.03-96», developed in 1996, includes the classification of soils on seismic properties, which does not meet modern requirements for the quality design of earthquake-resistant buildings and structures. The article discusses new approaches for distinguishing the category of soils by seismic properties. The main indicators are the shear wave propagation velocity, seismic rigidity, strength characteristics and indicators that determine the physical and mechanical properties of soils. When choosing a category of soils the identification of four categories of soils and the need to take into account the class of resistance of buildings and structures has been substantiated. Given the shortcomings in the existing classification, the article proposes a new version of the classification of soils by seismic properties.

Keywords: classification of soils, seismic properties, seismic vibrations, macro seismic surveys, correlation analysis, dispersed soil, damage to buildings, engineering-geological conditions.

Введение

Одним из основных факторов при оценке сейсмической интенсивности является грунтовые условия, которые оказывают существенное влияние на сейсмичность площадки, в одних случаях увеличивая ее уровень, в других – снижая до 1 балла.

Анализ последствий сильных землетрясений, произошедших на территории Узбекистана и других соседних государств, такие как Ташкентские (1966, 2008 гг.), Газлийские (1976, 1984 гг.), Назарбекское (1980 г.), Папское (1984 г.), Кайраккумское (1985 г.), Избасканское (1992 г.), Канское (2011 г.), Марджанбулакское (2013 г.) и др., позволили достаточно надежно установить, что сейсмическая интенсивность и, следовательно, разрушения зданий и сооружений на слабых грунтах имеют более высокие значения, чем на территориях с плотными грунтами. В соответствии с этим, в строительных нормах КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах» для оценки расчетной сейсмичности территории рекомендуется использовать таблицу 1.1 [1], где вся совокупность грунтов разделена на три категории, которые влияют на изменение исходной сейсмической интенсивности соответственно на $-1,0$ (уменьшая интенсивность), 0 и $+1,0$ (повышая интенсивность) балл. Практическая ценность рассматриваемой таблицы заключается в том, что данная таблица при отсутствии карт сейсмического микрорайонирования позволяет проектировщикам и строителям определять сейсмические нагрузки на здания и сооружения.

В мировой практике также используется классификация грунтов по сейсмическим свойствам. Так, в Европе применяется Еврокод 8 [2], где выделены шесть категорий грунтов по сейсмическим свойствам, в США используется более дробная классификация с восемью категориями грунтов DSSC [3], в КНР и Республике Казахстан обходятся четырьмя категориями, в СНГ используется классификация с тремя категориями грунтов по сейсмическим свойствам. При выделении категории грунтов принимаются разные показатели: в DSSC – скорость поперечных волн верхней 30-метровой толщи, сопротивление прочности стандартному пенетromетру, сдви-

говая прочность; в Eurocode 8 – скорость поперечных волн, грунтовые коэффициенты; в СП 14.13330.2014 (2014) скорость поперечных волн, отношение скорости продольных волн к поперечным волнам [4].

Методика исследования

Для определения категории грунтов по сейсмическим свойствам проведены полевые инженерно-геологические, геофизические и экспериментально-лабораторные исследования на территории распространения различных литологических типов грунтов. При этом использованы современный цифровой трехкомпонентный сейсмометр CMG-6TD производства Guralp (Великобритания) с частотной характеристикой – равномерная в диапазоне $0,03$ - 50 Гц, сейсморазведочная станция «MAE X610-S» (Италия) с применением горизонтальных и вертикальных сейсмоприемников, частотой $4,5$ Гц, полевые ручные пенетromетры (РП-1), лопастной прессиометр (ЛПМ-15) и лабораторные приборы для определения комплексных параметров физических и механических свойств грунтов. Для определения упругих свойств в лабораторных условиях использована ультразвуковая аппаратура УК-10ПМ. Обработка и расчеты данных проведены с использованием программных средств: скрипт-пакет Матлаб-7, написанный Stephane Hans, ENTPE (Франция), Reflexw, Rayfract, PcLab (Италия).

Для оценки приращения сейсмической интенсивности площадки использован метод Накамуры (Y. Nakamura), более известный как метод отношений спектров горизонтальной компоненты записи к вертикальной (the Horizontal to Vertical Spectrum Ratio – HVSR), методы сейсмических жесткостей и инженерно-геологических аналогий.

Анализ и результаты

За истекший период практического использования нормативного документа изыскательскими и проектными организациями выявлен ряд недочетов и несоответствий принятым за последние годы стандартам и уровню развития научных разработок. Все это приводит в одних случаях к необоснованному занижению проектной стоимости зданий и сооружений, в других – ее повышению. В частности,

в примечании 1 к табл. 1.1. КМК 2.01.03-96 указывается определение расчетной сейсмичности площадки строительства на территории просадочных лессовых грунтов в зависимости от мероприятий по улучшению свойств грунтов. К сожалению, на практике при проектировании данный пункт не применяется. Хотя антипросадочные мероприятия, с одной стороны, улучшают сейсмическую устойчивость грунтов, а с другой, снижают уровень сейсмической интенсивности до 1 балла, в результате снижаются затраты на строительство до 9–11%.

При реализации мероприятий основной задачей является выявление признаков, характеризующих грунтовые условия. В предыдущей классификации грунтов по сейсмическим свойствам табл. 1.1. КМК 2.01.03-96 основными показателями были приняты показатели инженерно-геологических свойств, такие как: предел прочности на одноосное сжатие, степень влажности, коэффициент пористости, показатель консистенции и для некоторых грунтов – модуль деформации. Из геофизических показателей свойств грунтов приведены только скорости распространения продольных и поперечных волн, что явно недостаточно для определения сейсмичности площадки. Кроме того, в 2011 году принят межгосударственный стандарт ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» [5], где грунты упорядочены по новой технологии. Учет этого стандарта в целом меняет содержание табл. 1.1. КМК 2.01.03-96.

Существуют научно-обоснованные показатели физического состояния грунтов, которые устойчивы при разграничении категории грунтов по сейсмическим свойствам. Принятие того или иного показателя (признака) для классификации грунтов по сейсмическим свойствам основывается на результатах комплексных исследований физико-механических и сейсмических свойств грунтов, которые меняются в зависимости от инженерно-геологических условий. Для выявления количественных параметров выбранных признаков грунтовых условий проводятся сейсморазведочные, инструментально-сейсмометрические и инженерно-геологические исследования в точках с различными грунтами. Дальнейшее сопоставление результатов

сейсмических и физико-механических свойств грунтов позволяет определять пороговые значения разграничения грунтов с различными приращениями сейсмической интенсивности.

На современном уровне научных достижений используемая на протяжении более 20 лет в качестве нормативного документа классификация показала свое несовершенство при определении расчетной сейсмичности строительных площадок. Это обусловлено следующими недочетами существующей классификации:

- ограничение инженерно-геологических данных по глубине (до 10 м от подошвы фундамента) при определении сейсмичности строительной площадки;
- некорректность при одинаковых грунтовых условиях (касательно грунтов третьей категории) прибавлений 1 балла при исходной сейсмичности района 7 баллов и прибавлений также 1 балла при исходной сейсмичности района 8 баллов и даже 9 баллов;
- наличие грунтов, с большей вероятностью склонных к разжижению и потере несущей способности при землетрясениях интенсивностью более 6 баллов;
- уровни ответственности проектируемых инженерных сооружений при оценке сейсмичности строительной площадки.

Учитывая вышеприведенные недостатки существующей классификации и обобщая многолетние инженерно-сейсмологические данные с сопоставлением последствий сильных землетрясений, предлагается усовершенствованная квалификация грунтов по сейсмическим свойствам (табл. 1). Предлагаемая квалификация разработана на основе учета класса ответственности инженерных сооружений и особого подхода в разграничении типов грунтов.

Класс ответственности зданий и сооружений определяется размером материального и социального ущерба, возникающего в случае достижения ими предельного состояния. По КМК 2.01.03-96 установлено пять классов ответственности для зданий и сооружений, которые учтены при разработке новой версии классификации грунтов по сейсмическим свойствам:

- Класс I – особо ответственные и уникальные здания и сооружения, которые вклю-

чают главные корпуса ТЭС, АЭС, телевизионные башни, промышленные трубы высотой более 200 м, резервуары для нефти и нефтепродуктов вместимостью свыше 10 тыс. м³;

– Класс II – здания и сооружения, функционирование которых жизненно важно в момент землетрясения и при ликвидации его последствий (госпитали и больницы с травматологическими и хирургическими отделениями, пожарные станции, объекты энергоснабжения, связи, вокзалы, аэропорты и др., имеющие важное значение при ликвидации последствий);

– Класс III – объекты с массовым пребыванием людей (школы, больницы, залы собраний, культурные учреждения и т.д.);

– Класс IV – здания и сооружения, не входящие в классы I, II, III и V;

– Класс V – малоответственные здания и сооружения, в которых не предусматривается постоянное пребывание людей (сельскохозяйственные, складские и т.п.).

Примечания к классификации:

1. Скорости поперечных волн (V_s), а также значение сейсмической жесткости грунта ($V_s \cdot \rho$) являются средневзвешенными значениями: для 30-метровой толщи для I класса ответственности зданий и сооружений, для 10-метровой толщи для II класса ответственности зданий и сооружений и в пределах толщи активной зоны для III класса ответственности зданий и сооружений, считая от планировочной отметки.

2. В случае многослойного строения грунтовой толщи грунтовые условия участка относят к более неблагоприятной категории, если в пределах верхней 30-метровой (I класс ответственности), 20-метровой (II класс ответственности) и зоны активности (III класс ответственности) толщи (считая от подошвы фундамента) слои, относящиеся к этой категории, имеют суммарную мощность более 5 м.

3. При отсутствии данных о консистенции, влажности, сейсмической жесткости, скоростях V_s глинистые и песчаные грунты при положении уровня грунтовых вод выше 4 м относятся к категории III или IV по сейсмическим свойствам. Для лессовых толщ, при отсутствии значения V_s , можно использовать уравнение:

$$V_s = 16,868 \cdot C + 63,106,$$

где C соответствует силе сцепления, определяемого в лабораторных условиях консолидированно-дренированным методом). При необходимости строительства зданий I класса ответственности на таких площадках для уточнения категории грунта по сейсмическим свойствам следует проводить детальные инженерно-геологические и сейсморазведочные исследования.

4. При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов (в том числе просадочных) категорию грунтов следует определять в зависимости от свойств грунта в замоченном состоянии. При проектировании зданий и сооружений I и II класса ответственности на таких грунтовых условиях расчетную сейсмичность площадки следует определять на основе прогнозируемых результатов антипросадочных мероприятий и защитных мероприятий площадки от обводнения.

Выводы

1. При прогнозировании сейсмического эффекта на территории распространения дисперсных грунтов более достоверные результаты дают инструментально-сейсмометрические наблюдения за сильными движениями, так как динамические параметры колебаний грунтов являются интегральными показателями, которые отражают состав, состояние и свойства грунтов. Однако сильные движения грунта – случай редкий, и они регистрируются в разных точках в различных типах грунта.

2. Косвенные методы, основанные на корреляционных и фундаментальных связях между амплитудами колебаний грунтов при землетрясениях (слабых) и физическими характеристиками, определяющими сейсмические свойства некоторой степени, снижают надежность прогнозирования. Но в балльной системе оценки сейсмического эффекта они вполне приемлемы для прогнозирования.

3. Разработанная классификация дисперсных грунтов по сейсмическим свойствам является основой для прогнозирования сейсмического эффекта, так как при разработке были использованы многолетние исследования по сейсмическому микрорайонированию территории городов, изучены

Усовершенствованная классификация грунтов по сейсмическим свойствам
(для определения расчетной сейсмичности площадки строительства)

Таблица 1

№		ГРУНТЫ	СЕЙСМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА		РАСЧЕТНАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ПЛОЩАДКИ ПРИ СЕЙСМИЧНОСТИ РАЙОНА (по карте ОСР) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАТЕГОРИИ ГРУНТА, балл													
			Скорость поперечных волн, Vs, км/с	Сейсмическая жесткость (Vs*ρ)	I-II КЛАСС ОТВЕТСТВЕННОСТИ					III-IV КЛАСС ОТВЕТСТВЕННОСТИ					V КЛАСС ОТВЕТСТВЕННОСТИ			
					Категория грунта	6	7	8	9	Категория грунта	6	7	8	9	Категория грунта	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ:																		
1	Невыветрелые и слабоветрелые скальные – (предел прочности на одноосное сжатие Rc>50 МПа)	1,4-2,3	2,45-5,61	I	-	-	7	8	I	-	-	7	8	I	-	-	7	8
2	Выветрелые скальные – (предел прочности на одноосное сжатие 15<Rc≤50МПа). Мощность выветрелой толщи до 5 метров	1,1-1,4	1,67-2,10	II	6	7	8	9										
3	Выветрелые и сильноветрелые с пределом прочности на одноосное сжатие Rc≤ 15 МПа). Мощность выветрелой толщи более 5 метров. Алевролиты, каменные лессы, мергели и др.	0,9-1,1	1,20-1,85						II	6	7	8	9					
КРУПНООБЛОМОЧНЫЕ ГРУНТЫ																		
1	Валунно-галечниковые с песчаным заполнителем до 30%, плотные, водонасыщенные	0,9-1,4	1,95-2,75	I	-	-	7	8	I	-	-	7	8	I	-	-	7	8

Продолжение таблицы

2	Галечниковые, гравийные, (щебнистые, арес- вяные) с песчано-глинистым заполнителем с содержанием до 30%, влажные	0,6 -0,90	1,45 -2,00	II	6	7	8	9										
3	Галечниковые, гравийные, (щебнистые, арес- вяные) с песчано-глинистым заполнителем с содержанием более 30%	0,4-0,6	0,80-1,20		II	6	7	8	9									
ПЕСЧАНЫЕ ГРУНТЫ																		
1	Пески гравелистые крупные и средней круп- ности с коэффициентом пористости $e < 0,5$, маловлажные, со степенью влажности $Sr \leq 0,5$, плотные	0,50- 0,70	0,85-1,35	II	6	7	8	9	II	6	7	8	9	I	-	-	7	8
2	Пески мелкие и пылеватые с коэффициентом пористости $e < 0,5$, и при $Sr \leq 0,5$, плотные и средней плотности.	0,40- 0,60	0,70-1,15															
3	Пески гравелистые, крупные и средней круп- ности с коэффициентом пористости $e = 0,5-0,7$ и степенью влажности $Sr \leq 0,5$; средней плотности	0,30- 0,40	0,52-0,80	III	7	8	9	9*						II	6	7	8	9
4	Пески мелкие и пылеватые с коэффициентом пористости $e = 0,5-0,7$, маловлажные ($Sr \leq 0,5$), средней плотности	0,25- 0,35	0,43-0,70	III	7	8	9	9*	II	6	7	8	9	II	6	7	8	9
5	Пески гравелистые, крупные и средней круп- ности с коэффициентом пористости $e < 0,7$ и степенью влажности $0,5 < Sr \leq 0,8$, средней плотности	0,30- 0,35	0,50 – 0,65						III	7	8	9	9*					
6	Пески мелкие и пылеватые с коэффициентом пористости $e < 0,7$, со степенью влажности $0,5 < Sr \leq 0,8$, средней плотности	0,20- 0,30	0,35 – 0,55															
7	Пески гравелистые, крупные и средней круп- ности с коэффициентом пористости $e > 0,7$, при степени влажности $Sr > 0,8$; рыхлые	0,20- 0,30	0,25 – 0,40	IV	7*	8*	9*	-						III	7	8	9	9*

макросейсмические последствия сильных и разрушительных землетрясений и проведены теоретические расчеты. Оперативность ее в прогнозировании заключается в том, что,

зная инженерно-геологический разрез площадки, можно определить расчетную сейсмичность без проведения дорогостоящих инструментальных исследований.

Источники и литература

1. Строительство в сейсмических районах: КМК 2.01.03-96 // Издание официальное. Комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. – Т.: 1996. – 103 с.
2. European Committee for Standardization (CEN). Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. EN 1998. Brussels. – 2004. – 229 p.
3. BSSC (Building Seismic Safety Council). NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, 2000 Edition, Part 1 // Provisions, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report FEMA 386). – Washington, D.C. 2001. – 356 p.
4. Строительство в сейсмических районах: СП 14.13330.2014. – М.: 2014. – 68 с.
5. Грунты. Классификация: ГОСТ 25100-2011. / Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2013. – 39 с.

Рецензент:

Зокиров М.М., кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Ташкентского государственного технического университета.