

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЕВРОКОДА 7 «ГЕОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ»

Роже Франк, профессор, вице-президент Международного общества механики грунтов и геотехники – ISSMGE

Введение

Система строительных Еврокодов включает десять групп стандартов:

EN 1990 Еврокод: Основы строительного проектирования;

EN 1991 Еврокод 1: Воздействия на конструкции (нагрузки и влияния);

EN 1992 Еврокод 2: Проектирование бетонных конструкций;

EN 1993 Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций;

EN 1994 Еврокод 4: Проектирование сталебетонных конструкций;

EN 1995 Еврокод 5: Проектирование деревянных конструкций;

EN 1996 Еврокод 6: Проектирование каменных конструкций;

EN 1997 Еврокод 7: Геотехническое проектирование;

EN 1998 Еврокод 8: Проектирование сейсмостойких конструкций;

EN 1999 Еврокод 9: Проектирование алюминиевых конструкций.

Строительные Еврокоды являются нормами проектирования любых зданий и сооружений. Они базируются на подходах расчета по предельным состояниям (РПС) совместно с методом частных коэффициентов.

За исключением EN 1990 все Еврокоды подразделяются на несколько частей: Еврокоды 2, 3, 4, 5, 6 и 9. Еврокод 7 (Геотехническое проектирование) и Еврокод 8 (Сейсмостойкость) касаются всех типов конструкций, независимо от материала.

Еврокод 7 состоит из двух частей: EN 1997-1 «Геотехническое проектирование – Часть 1. Общие правила» [9] и EN 1997-2 «Геотехническое проектирование – Часть 2. Исследования и испытания грунтов» [10].

Разработка Еврокода 7 была тесно связана с разработкой EN 1990 Еврокод «Основы строительного проектирования», в частности, его раздела 6 «Проверка методом частных коэффициентов» и дополнений A1 и A2 (Применение для зданий и мостов соответственно), с целью проверки взаимодействия системы «грунт-конструкция», пригодного для всех случаев.

История создания и внедрения Еврокода 7

Первая группа специалистов, которой было поручено составление европейского стандарта по геотехническому проектированию, была создана в 1981 г. Она состояла из представителей национальных технических обществ 10 стран, которые входили в то время в Евросоюз. Первый вариант EN, в части общих правил геотехнического проектирования (соответствует части 1 Еврокода 7), был опубликован в 1990 г. [11].

В 1990 г. задание на составление проекта норм для зданий и сооружений было передано Европейской комиссии по стандартизации (CEN) и CEN/TC 250 (Технический комитет 250), ответственным за все создаваемые строительные нормы. В частности, подкомитет 7 (SC 7) отвечал за Еврокод 7 «Геотехническое проектирование». Заметим, что CEN сформирован из национальных органов по стандартизации всех европейских стран.

В 1993г. SC 7 утвердил первую редакцию ENV 1997-1 «Геотехническое проектирование – Часть 1: Общие правила» [5].

Работа над превращением ENV 1997-1 в EN1997-1 «Геотехническое проектирование – Часть 1: Общие правила» проводилась с 1997 г. по 2003 г. Формальное позитивное голосование членов CEN состоялось в начале 2004 г. и CEN опубликовал Еврокод 7 – часть 1 (EN 1997-1) в ноябре 2004 г. [9].

Еврокод 7 вначале состоял из двух частей: Часть 2, посвященная геотехническому проектированию с помощью лабораторных испытаний, и Часть 3, посвященная геотехническому проектированию с помощью полевых испытаний, а в 2001 г. члены CEN проголосовали за их превращение в Европейские нормы [10].

Введение в действие этой части Еврокода каждым национальным центром стандартизации с Национальным приложением (на официальном языке каждой страны) была выполнена на протяжении двух лет после публикации CEN. Роль Национального приложения – указать решения, которые отвечают так называемым «национально обусловленным параметрам (NDPs)». Национальное приложение может также придавать статус отдельного норматива одному или нескольким «информационным дополнениям», т. е. он (они) будет (будут) обязательными в соответствующей стране.

Каждая страна имела право дополнять общие правила Еврокода 7 национальными дополнительными стандартами, чтобы установить расчетные модели проектирования для использования в стране. В то же время их содержание должно отвечать всем принципам Еврокода 7.

Содержание документов

Часть 1. Общие правила

Еврокод 7 – Часть 1 является скорее общим документом и даёт только принципы для геотехнического проектирования, в соответствии с общими принципами РПС. Эти принципы применяются в расчетах геотехнических воздействий на конструкции (здания и сооружения) и в проектировании самих строительных элементов в контакте с грунтом (основания, сваи, фундаментные стены и т. д.). Детальные правила проектирования или расчетные модели, т. е. точные формулы или графики приводятся только в информационных приложениях. Как было упомянуто, основная причина такого подхода заключается в том, что расчетные методы в области геотехники в разных странах различны и нельзя достичь единства, особенно когда много из этих методов еще необходимо разработать и адаптировать к подходам РПС.

Еврокод 7 – Часть 1 содержит следующие разделы [9]:

- Раздел 1 – Общая часть;
- Раздел 2 – Основы геотехнического проектирования;
- Раздел 3 – Геотехнические данные;

- Раздел 4 – Надзор при строительстве, мониторинге и эксплуатации;
- Раздел 5 – Насыщение и отведение воды, улучшение и армирование грунта;
- Раздел 6 – Фундаменты мелкого заложения (распределительные фундаменты);
- Раздел 7 – Свайные фундаменты;
- Раздел 8 – Анкерование;
- Раздел 9 – Подпорные конструкции;
- Раздел 10 – Гидравлическое разрушение;
- Раздел 11 – Общая устойчивость;
- Раздел 12 – Насыпи.

Раздел 8 по анкерованию, раздел 10 по гидравлическому разрушению и раздел 11 по устойчивости площадок являются новыми разделами относительно первичного стандарта (EN 1997-1) [5].

В Часть 1 включены несколько приложений. Они все информационные, за исключением приложения А, которое является нормативным (т. е. обязательным). Перечень приложений EN 1997-1 таков:

- Приложение А (обязательное) – Частные коэффициенты для предельных состояний;
- Приложение В – Обоснование частных коэффициентов для проектных подходов 1, 2 и 3.
- Приложение С – Порядок назначения предельных значений давления грунта на вертикальные стены;
- Приложение D – Аналитический метод расчета предельного сопротивления;
- Приложение E – Полуэмпирический метод определения предельного сопротивления;
- Приложение F – Методы расчета (оценки) осадок;
- Приложение G – Метод оценки прогнозируемого сопротивления для фундаментов мелкого заложения на скальных грунтах;
- Приложение H – Ограничение перемещений фундаментов и деформаций конструкций;
- Приложение J – Правила надзора и мониторинга выполнения.

Приложение А важное, поскольку дает частные коэффициенты для предельных состояний при постоянных и временных проектных ситуациях («основные сочетания»), а также переходные коэффициенты для нормативных значений несущей способности свай. Поэтому численные значения частных или переходных коэффициентов, которые приведены в Приложении А, являются рекомендуемыми значениями. Точные значения показателей могут быть приняты при изменении каждым национальным органом по стандартизации в Национальном приложении. Все остальные приложения – информационные (т. е. необязательные в нормативном отношении). Некоторые из них содержат полезные материалы, которые могут быть приняты большинством стран.

Отсюда национальные дополнительные стандарты, которые устанавливают расчетные модели и правила проектирования для применения в каждой стране, будут зависеть от выбора, сделанного относительно использования информационных приложений Еврокода 7.

Часть 2. Исследования и испытания грунтов

Роль этой части Еврокода 7, посвященной лабораторным и полевым испытаниям, – дать необходимые требования к оборудованию и методам испытаний, анализу и получению результатов, их трактовке и, в конечном итоге, определению значений геотехнических параметров для проектирования. Она дополняет требования Части 1 с целью обеспечения надежного и экономичного проектирования.

Эта часть устанавливает связь между геотехническими требованиями Части 1, особенно раздела 3 «Геотехнические данные», и результатами лабораторных и полевых испытаний. Собственно она не распространяется на стандартизацию геотехнических испытаний.

Часть 2 Еврокода 7 включает следующие разделы [10]:

- Раздел 1 – Общая часть;
- Раздел 2 – Планирование исследований грунта;
- Раздел 3 – Отбор образцов дисперсных и скальных грунтов и измерения грунтовых вод;
- Раздел 4 – Полевые испытания в дисперсных и скальных грунтах;
- Раздел 5 – Лабораторные испытания в дисперсных и скальных грунтах;
- Раздел 6 – Отчет об изысканиях грунтов.

Раздел 4 «Полевые испытания в дисперсных и скальных грунтах» включает такие вопросы:

- зондирование грунтов конусом СРТ (U);
- прессиометрические испытания PMT;
- испытания скальных грунтов дилатометром RDT;
- стандартные пенетрационные SPT;
- динамические пенетрационные испытания DP;
- испытания весом WST;
- полевые испытания крыльчаткой FVT;
- плоские дилатометрические испытания DMT;
- испытания загрузочной плитой PLT.

Раздел 5 «Лабораторные испытания в дисперсных и скальных грунтах» касается:

- подготовки образцов грунта для испытаний;
- подготовки образцов скальных грунтов для испытаний;
- испытаний для классификации, идентификации и описания грунтов;
- химического анализа грунтов и грунтовых вод;
- определения показателей прочности грунтов;
- испытаний грунтов на прочность;
- испытаний грунтов на сжимаемость и деформацию;
- испытаний на уплотняемость грунтов;
- испытаний на водопроницаемость грунтов;
- испытаний для классификации скальных грунтов;
- испытаний на набухание скальных грунтов;
- испытаний на прочность скальных грунтов.

В разделе даны указания, как определить и использовать так называемые «исходные величины» по результатам испытаний. Некоторые из этих положений являются руководством при использовании расчетных моделей в приложениях к Части 1. Часть 2 также включает связь информационных приложений с точными значениями переходных величин геометрических параметров и коэффициентами, которые обычно используются при проектировании.

Как и в Части 1, большинство исходных данных или расчетных моделей являются информационными, но достигнута договоренность об обязательном использовании их в Еврокоде в будущем. В любом случае, они четко отображают существующие подходы на континенте относительно использования результатов лабораторных и полевых испытаний при проектировании геотехнических конструкций.

Некоторые аспекты Еврокода 7. Геотехника проектирования

Процедуры проверки и геотехнические категории

Дискуссии по проверке геотехнического проектирования обычно базируются на подходах, которые выполняют с помощью расчетов. Поэтому необходимо подчеркнуть, что расчеты являются лишь способом контроля того, что основные требования выполняются.

Часть 1 Еврокода действительно дает разные возможности (раздел 2.1 EN 1997-1):

«(4) Предельные состояния должны быть проверены одним или группой следующих методов:

- использование расчетов;
- применение мер по указаниям;
- экспериментальные модели и загрузочные испытания;
- метод наблюдений».

Однако полезно помнить следующее:

- использование мер по указаниям означает, что при некоторых обстоятельствах можно избежать расчетов, которые могут быть длительными и громоздкими в сравнении с решаемой проблемой;

- применение экспериментальных моделей и загрузочных испытаний означает, что основой геотехнического проектирования и правил расчетов является мониторинг поведения реальных конструкций, с использованием, при необходимости, полномасштабных испытаний;

- метод наблюдений является одним из направлений современного геотехнического проектирования (в полном соответствии с упомянутыми выше основами).

Относительно метода наблюдений Еврокод 7 дополняет, что (раздел 2.7 EN 1997-1): «(2) *Перед началом строительства должны быть выполнены следующие требования:*

- *установлены допустимые границы поведения;*
- *необходимо оценить диапазон возможности поведения и установить, что обеспечивается приемлемая вероятность того, что реальная работа будет в допустимых границах;*

- *должен быть продуман план мониторинга, который покажет – находится ли реальное поведение в допустимых границах. Мониторинг должен делать это четко, на ранних этапах и в достаточно короткие сроки, чтобы предусмотренные действия были успешно осуществлены;*

- *время работы оборудования и выполнение процедур анализа результатов должно быть достаточно малым в сравнении со временем возможных изменений системы;*

- *должен быть продуманный план непредвиденных действий, которые могут быть приняты, если мониторинг выявит поведение вне установленных границ».*

Отметим, что если в Еврокоде пункт обозначен буквой «З», это означает, что он принципиальный, то есть является фундаментальным требованием. Пункты без этой буквы – только «правила использования».

Чтобы установить проектные требования и уровни, которые необходимы для геологических исследований, Еврокод 7 предусматривает три геотехнические категории (раздел 2.1 EN 1997-1). Это только способ их наименования, а можно использовать здесь термин «уровень ответственности» (Приложение В EN 1990) [8].

Геотехническая категория 1 соответствует простой конструкции, которая может быть запроектирована и выполнена без риска только на основе опыта и качественных геотехнических исследований. Сюда можно включить подпорные стены средней высоты или простые фундаменты индивидуальных домов в простых геотехнических условиях.

Геотехническая категория 2 охватывает обычные геотехнические конструкции без особого риска (т. е. без сложных геотехнических условий или нагрузок). Требования Еврокода 7, которые касаются расчетов и исследований грунтов, полностью распространяются на 2 категорию конструкций (раздел 2.1 EN 1997-1):

«(18) Проекты конструкций при геотехнической категории 2 должны, как правило, включать количественные геотехнические данные и анализ для гарантии, что основные требования выполнены.

(19) Для проектов 2 геотехнической категории могут быть использованы обычные процедуры (обычный порядок) полевых и лабораторных исследований, проектирования и выполнения.

Примечание: примерами обычных конструкций или частей конструкций, которые относятся ко 2-й геотехнической категории, являются:

- *фундаменты мелкого заложения;*
- *сплошные фундаменты;*
- *свайные фундаменты;*
- *стены и иные конструкции, которые удерживают или поддерживают грунт или воду;*
- *котлованы;*
- *сваи мостов и опоры;*
- *насыпи и земляные сооружения;*
- *грунтовые анкеры и иные системы крепления;*
- *тоннели в прочных, ненарушенных скальных породах, на которые не действует особое давление воды или иные воздействия».*

Категория 3 включает все геотехнические конструкции со сверхнормативным риском, к которым требования Еврокода 7 недостаточны для обеспечения принятого уровня безопасности. Риски могут возникнуть от состояния грунта или условий загрузки. Еврокод 7 (раздел 2.1 EN 1997-1) четко устанавливает, что:

«(21) Геотехническая категория 3, как правило, должна включать альтернативные положения и требования для правил этого стандарта [EN 1997-1]».

В системе Еврокодов, как было упомянуто раньше, принятым методом расчета является метод РГС, используемый совместно с методом частных коэффициентов. Проблемы, которые встречаются при геотехническом проектировании, часто возникают по причинам, которые не связаны с проектными расчетами. Для геотехнической практики Еврокод 7 – Часть 1 напоминает (раздел 2.4.1 EN 1997-1:

«(2) Необходимо учитывать, что знание грунтовых условий зависит от объема и качества геотехнических исследований. Такие знания и контроль качества являются более значимыми при выполнении основных требований, чем точность расчетных моделей и коэффициентов».

«(7) [...] определяющим параметром является, как правило, среднее значение диапазона значений, которые покрывают большую поверхность или объем грунта. Характеристическое значение может быть осторожной оценкой средней величины».

Эти пункты Еврокода 7 – Часть 1 отображают тот факт, что возможно использовать значения геометрических параметров, которые традиционно используются (определение которых не стандартизировано, т. е. они часто зависят от личного мнения инженера).

Поэтому необходимо сделать два замечания по этому поводу. С одной стороны, должна быть введена концепция «переменной величины» геотехнического параметра (предварительное назначение характеристического значения). С другой стороны, есть четкая ссылка на данное предельное состояние (что может выглядеть очевидным, но является в каком-либо случае путем увязывания традиционной геотехники и новых подходов метода предельных состояний) и оценку среднего значения (а не местного значения, это может проявляться как специфическая особенность геотехнического проектирования, которое правдоподобно захватывает «большие» площади или массы грунта).

Статистические методы упоминаются только как возможность:

«(10) Если используются статистические методы [...], то такие методы должны различать локальный и региональный отбор образцов [...]».

«(11) Если используются статистические методы, то характеристическая величина должна быть получена так, чтобы расчетная вероятность наихудшего значения, которое вызывает данное предельное состояние, не превышала 5%.

Примечание: с этой точки зрения осторожной оценкой среднего значения является выбор среднего значения ограниченной выборки значений геотехнического параметра с уровнем обеспеченности 95%; там, где дело касается местного повреждения – осторожной оценкой нижнего значения является 5% квантиля».

Общей мыслью является то, что характеристическая величина геометрического параметра не может сильно отличаться от традиционно используемой величины. Обычно для большинства проектов при геотехнических исследованиях серьезная статистическая обработка результатов не может быть осуществлена. Статистические методы, безусловно, являются полезными для очень крупных проектов, где объем данных оправдывает их использование.

Производные значения

Много геотехнических исследований, в особенности полевых, не позволяют определять прямо основные геотехнические параметры или коэффициенты, например, прочность и деформации. Вместо этого, значения таких параметров и коэффициентов должны быть выведены с использованием теоретических или эмпирических соотношений.

Концепция «производных значений» была введена в ENV 1997-3 [7], чтобы придать статус используемым соотношениям и моделям и получить из результатов полевых и лабораторных исследований геотехнические параметры и коэффициенты, которые вводятся непосредственно в проектирование. Их использование предназначалось сначала для свайных и фундаментов мелкого заложения, как указано в приложениях D и G Еврокода 7 – Часть 1.

В Еврокоде 7 – Часть 2 дано следующее определение производных значений: «*производные значения геотехнических параметров и /или коэффициентов выводятся из результатов исследований теоретическими, корреляционными или эмпирическими методами*».

Геотехнические параметры, полученные по результатам полевых испытаний, служат либо начальной информацией для аналитической или непрямой модели, либо коэффициентом для использования в полуэмпирической или прямой модели при проектировании фундамента.

Производные значения геотехнических параметров затем используются в качестве начальной информации для оценки характеристического значения этого параметра в смысле Еврокода 7 – Часть 1 (п. 2.4.5.2 EN 1997-1), более того, его расчетным значением при использовании частного коэффициента γ_m («коэффициент материала», п. 2.4.6.2).

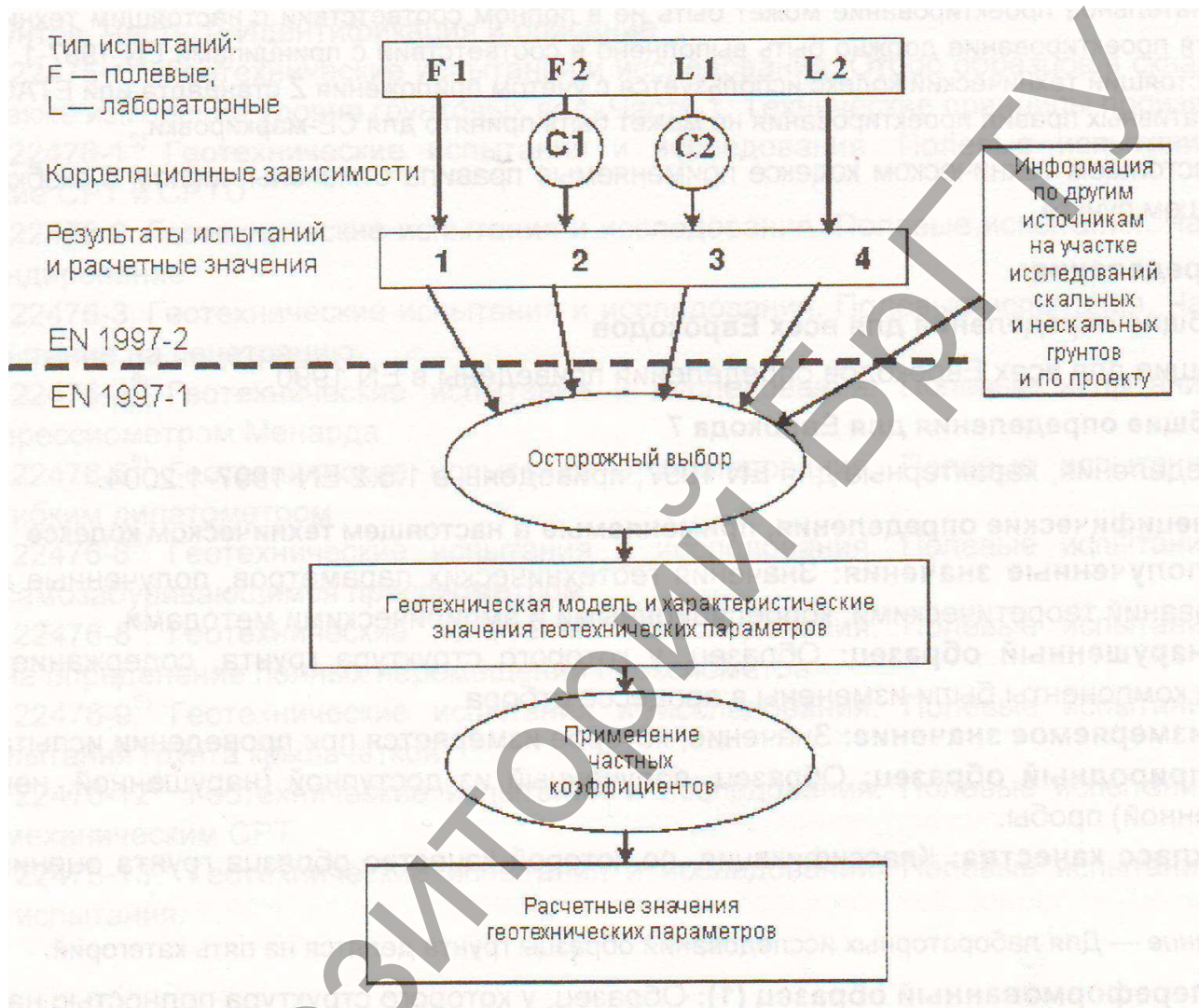
Роль, которую играют производные значения геотехнических параметров, можно понять с помощью рисунка 1, взятого из Еврокода 7 – часть 2. На рисунке 1 показана разграничительная линия между Частью 1 (EN 1997-1) и Частью 2 (EN 1997-2). Можно видеть, что требования, касающиеся измерений геотехнических свойств, а также их производных значений, охватываются Частью 2 «Исследования и испытания грунтов», в то время как требования, которые касаются назначения характеристических величин и расчетных величин, охватываются Частью 1 «Общие правила».

Проверка предельных состояний

Расчетные предельные состояния (РПС-ULS), которые должны проверяться, назначаются Еврокодом 7 – Часть 1 совместно с Еврокодом «Основы строительного проектирования» [7] таким образом (п. 2.4.7.1 EN 1997-1):

«(1)Р При необходимости следует проверить, что не превышаются следующие предельные состояния:

- потери равновесия конструкции или грунта, рассматриваемых как жесткое тело, в котором прочности строительных материалов и грунта несущественны для обеспечения сопротивления (EQU);



F — полевые испытания, L — лабораторные испытания,
1...4 — результаты испытаний и производные значения

Рисунок 1 – Общая схема для выбора производных, характеристических и расчетных величин геотехнических свойств [10]

- внутреннее разрушение или чрезмерная деформация здания или конструктивных элементов, включая основания, сваи, стены подвала и так далее, при которых прочность строительных материалов существенна для обеспечения сопротивления (STR);

- разрушение или чрезмерная деформация грунта, при которых прочность грунта или скальной породы существенна для обеспечения сопротивления (GEO);

- потеря равновесия конструкции или грунта за счет повышения давления воды (взвешивание) или иных вертикальных воздействий (UPL);

• гидравлический выпор, внутренняя эрозия и суффозия в грунте, обусловленные гидравлическими градиентами (HYD);

Примечание: Предельное состояние GEO часто является критическим при назначении размеров строительных элементов, используемых в фундаментах или удерживающих конструкциях, и иногда при обеспечении прочности элементов конструкций».

Расчетные предельные состояния должны быть проверены для объединения действий, отвечающих следующим проектным ситуациям (EN 1990 [8]):

• постоянные и временные (соответствующие сочетания называются 2 основными»), далее для удобства эти проектные ситуации называются «p&tds»;

- случайные;
- сейсмические.

Проектные значения воздействий и сочетания воздействий определены в EN 1990 (частные коэффициенты γ для воздействий и показатели Ψ для сопутствующих переменных воздействий).

Спор по формату проверки предельных состояний GEO и STR был важен для постоянных и временных проектных ситуаций. Этот спор вытекает из формулирования ENV 1997-1 [5], которое принимает во внимание, что РГС при постоянной и временной проектной ситуации может быть выполнено для двух форматов сочетания воздействий, т. е. для случаев В и С, как они были названы в то время случай «В» имел целью учета неопределенности нагружения, а «С» – неопределенности сопротивления грунта.

Консенсус, достигнутый между инженерами-строителями и геотехниками, открыл путь для трех разных Проектных подходов (ПП-1, ПП-2 и ПП-3). Выбор подхода остается за Национальным решением, т. е. каждая страна должна будет обосновать в своем Национальном приложении Проектные подходы, которые должны использоваться для каждого вида геотехнической конструкции (фундаменты мелкого заложения, свайные фундаменты, удерживающие конструкции, устойчивость откосов).

Вообще говоря, для выполнения ULS-p&tds в EN 1990 введено три группы частных коэффициентов касательно характеристических величин воздействий – группы А, В и С:

- группа А используется для расчета статического равновесия конструкции (EQU);
- группа В используется для проектирования строительных элементов (STR), на которые не воздействуют геотехнические влияния;
- группы В и С используются для проектирования строительных элементов, на которые воздействуют геотехнические влияния и сопротивления грунта (STR/ GEO).

Таблицы 1, 2 и 3 содержат упрощенно рекомендованные значения этих коэффициентов для зданий групп А, В и С, взятые из таблиц А1.2(А), А1.2(В) и А1.2(С) EN 1990 [8]. Рекомендованные значения могут быть изменены национальным решением.

Таблица 1 – Рекомендуемые значения коэффициентов для воздействий (группа А) по EN 1990 [8] для РПС–ULS в р&tds

Воздействия	Символ	Значение
Постоянные:		
– неблагоприятные	$\gamma_{G, sep}$	1,10*
– благоприятные	$\gamma_{G, inf}$	0,90*
Временные:		
– неблагоприятные	γ_Q	1,50
– благоприятные		0

Таблица 2 – Рекомендуемые значения коэффициентов для воздействий (группа В) по EN 1990 [8] для РПС–ULS в р&tds

Воздействия	Символ	Значения в уравнениях		
		(6.10)	(6.10a)	(6.10b)
Постоянные:				
– неблагоприятные*	$\gamma_{G, sep}$	1,35	1,35	1,15**
– благоприятные*	$\gamma_{G, inf}$	1,00	1,00	1,00
Переменные:				
– неблагоприятные	γ_Q	1,50	1,50	1,50
– благоприятные		0	0	0

Таблица 3 – Рекомендуемые значения коэффициентов для воздействий (группа С) по EN 1990 [8] для РПС–ULS в р&tds

Воздействия	Символ	Значение
Постоянные:		
– неблагоприятные	$\gamma_{G, sep}$	1,00
– благоприятные	$\gamma_{G, inf}$	1,00
Временные:		
– неблагоприятные	γ_Q	1,30
– благоприятные		0

Таблица 4 – STR/GEO – ULS в р&tds. Частные коэффициенты для EN 1990 и EN 1997-1

Проектный подход	Воздействия на/от конструкцию	Геотехнические	
		воздействия	сопротивления
1	В	В и М1	М1 и R1
	С	С и М2	М2 и R1 или М1 и R4*
2	В	В и М1	М1 и R2
3	В	С и М2	М2 и R3

Для STR/GEO ULS при р&tds тремя Проектными подходами являются следующие (п. А.1.3.1 EN 1990):

«(5) Проектирование элементов конструкций (опор, свай, стен подвалов и др.) (STR) с учетом сейсмических воздействий и сопротивления грунта (GEO) должно быть проверено с использованием одного из следующих трех подходов, примененных для геотехнических воздействий и сопротивлений согласно с EN 1997:

Подход 1: Использование в отдельных расчетах расчетных значений из таблицы А.1.2(С) и таблицы А.1.2(В) для геотехнических воздействий, а также иных воздействий на/от конструкцию. В общем случае, назначение размеров фундаментов регламентируется таблицей А.1.2(В);

Подход 2: Использование расчетных значений из таблицы А.1.2 (В) для геотехнических воздействий, а также иных воздействий на/от конструкции;

Подход 3: Использование расчетных значений из таблицы А.1.2(С) для геотехнических воздействий и, одновременно, использование частных коэффициентов из таблицы А.1.2(В) для иных воздействий на/от конструкцию.

Иными словами, Проектный подход 1 (ПП-1) является двойной процедурой контроля, исходя из ENV 1997-1 (В+С проверка), а Проектные подходы 2 (ПП-2) и 3 (ПП-3) являются процедурами, которые используют простой формат сочетания воздействий. ПП-2 разработан с «коэффициентами сопротивления» для грунта (RFA), в то время как ПП-3 использует «коэффициенты материала» для грунта (MFA).

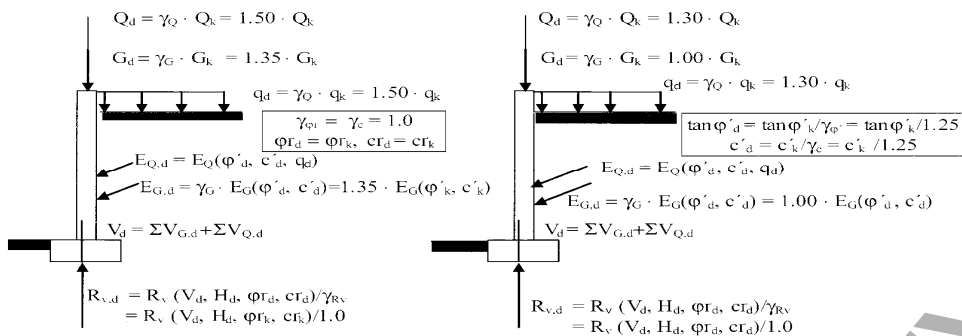
Необходимо сделать два существенных замечания по этому поводу:

- относительно выбора между выражением 6.10 или выражениями 6.10а и 6.10b EN 1990 (таблица 2 для группы В), Еврокод 7 только упоминает рекомендованные значения коэффициентов, вводимых в выражение 6.10 (таблица А.3(1)Р А EN 1997-1). Это вытекает из того факта, что рекомендованные геотехнические значения происходят из недостаточно точных испытаний, выполненных с использованием выражения 6.10, а с другой стороны, нет опыта использования в геотехнике выражений 6.10а и 6.10b;

- для ПП-2 и ПП-3 Еврокод 7 допускает использование частных коэффициентов или для воздействий, либо для результатов воздействий. (они обозначаются γ_F и γ_E соответственно). Это относится к коэффициентам групп В и С (неблагоприятные переменные воздействия).

Таблица 4 показывает связь между группами В и С и соответствующими группами коэффициентов для геотехнических воздействий и сопротивлений: группами М1 и М2 – для свойств материала (например c' , ϕ' , c_u и т. д. – со штрихом значения параметров прочности при эффективных напряжениях) и группами R1, R2, R3 и R4 – для общего сопротивления (например, несущей способности и т. д.). Эти группы выделены в приложении А части 1 Еврокода 7. Как упомянуто выше, приложение А дает рекомендованные значения частных коэффициентов; эти значения могут быть указаны по-разному в Национальном приложении. Отметим, что рекомендованные значения частных коэффициентов γ_M для свойств материала в группе М1 обычно равны 1,0.

В ПП-1 первый формат (сочетание 1, предыдущий случай В) обеспечивает надежность, в основном, на воздействия, в то время как показатели сопротивления имеют рекомендованные значения, равные 1,0 (группы М1 и R1) или почти 1,0 (группа R1 для соосно нагруженных свай и анкеров); при другом формате, согласно ПП-1 (сочетания 2, предыдущий случай С), частные свойства грунта (параметры сдвига) всегда устанавливаются для расчета сопротивления (группа М2); для соосно нагруженных свай и анкеров общее сопротивление устанавливается прямым использованием группы R4.

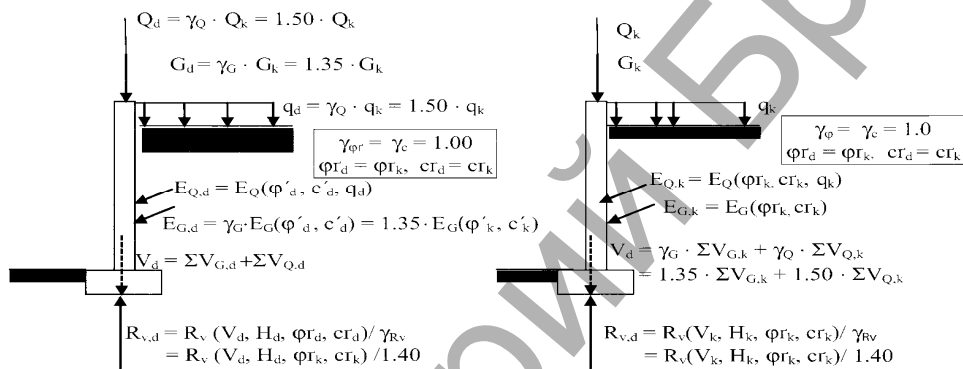


а) ПП-1: сочетание 1

б) ПП-1: сочетание 2

Примечание: для упрощения рассматривается только вертикальное равновесие и показаны только неблагоприятные воздействия.

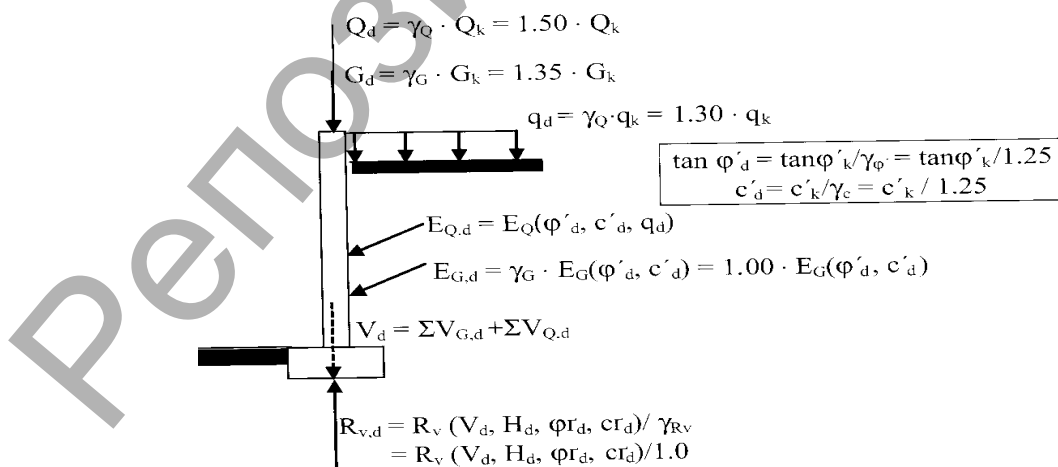
Рисунок 2 – ULS в r&tds. Проектный подход 1 – введение частных коэффициентов (рекомендованные значения) в расчет несущей способности основания [13]



а) определение воздействий (ПП-2); б) определение воздействий (ПП-2*)

Примечание: для упрощения рассматривается только вертикальное равновесие и показаны только неблагоприятные воздействия.

Рисунок 3 – ULS в r&tds. Проектный подход 2 – введение частных коэффициентов (рекомендованные значения) в расчет несущей способности основания [13]



Примечание: для упрощения рассматривается только вертикальное равновесие и показаны только неблагоприятные воздействия.

Рисунок 4 – ULS в r&tds. Проектный подход 3 – введение частных коэффициентов (рекомендованные значения) в расчет несущей способности основания [13]

В ПП-2 надежность распространяется и на воздействия (группа В), и на общее сопротивление грунта (группа R2).

В ПП-3 надежность распространяется и на воздействия (группа В для воздействий, которые возникают от конструкции, и группа M2 для частных свойств грунта, который действует на конструкцию, т. е. для геотехнических воздействий), и на геотехнические опоры (группа M2 для частных свойств; рекомендованные значения для группы R3 при геотехническом сопротивлении всегда равны 1,0 за исключением свай при выдергивании и анкеров, для которых они равны 1,1).

Детальнее об использовании трех Проектных подходов сказано, например, в работе Р. Франка и др. [13].

Относительно проектных значений для аварийных ситуаций Еврокод 7 констатирует (статья 2.4.7.1 EN 1997-1), что:

«(3) Все значения частных коэффициентов для воздействий или результатов воздействий при аварийных ситуациях должны быть приняты, как правило, равными 1,0. Все значения частных коэффициентов для сопротивления должны быть выбраны согласно специфическим условиям аварийных ситуаций.»

Примечание: значения частных коэффициентов могут быть установлены Национальным приложением».

Проверка предельного состояния по эксплуатационной пригодности (SLS)

Основная дискуссия во время разработки Еврокода 7 была о формате для проверки РПС при постоянной и временной ситуации. Поэтому проверка предельного состояния по эксплуатационной пригодности (SLS) является проблемой объективно важной при современном проектировании. Эта проблема полностью охвачена Еврокодом 7, который обычно часто ссылается на расчеты перемещений фундаментов и удерживающих конструкций, хотя обычная геотехническая практика до сих пор ищет пути как управлять эксплуатационной пригодностью, ограничивая несущую способность или ограничивая прочность грунта на срез до нижних значений.

Проверка SLS в смысле, предлагаемом Еврокодом 7 (прогнозирование перемещений фундаментов), безусловно, станет важной в ближайшем будущем. В настоящее время она – аспект, которым часто пренебрегают в общей геотехнической практике.

Часть 1 Еврокода 7 повторяет формулировку EN 1990 (п. 2.4.8 EN 1997-1):

«(1) Р Проверка предельного состояния по эксплуатационной пригодности в грунте, в элементе конструкции или соединении должна требовать, чтобы $E_d < C_d$, или должна быть выполнена по методу, приведенному в 2.4.8(4).»

(2) Значения частных коэффициентов для предельного состояния по эксплуатационной пригодности должны быть приняты равными 1,0.

Примечание: Значения частных показателей могут быть установлены Национальным приложением».

В то же время, Еврокод 7 одновременно предусматривает возможность сохранения традиционного подхода, упомянутого выше (п. 2.4.8 EN 1997-1):

«(4) Может быть установлено, что довольно малая часть прочности грунта мобилизуется, чтобы удерживать деформации в необходимых преде-

лах эксплуатационной пригодности, при условии, что этот упрощенный подход ограничивается в расчетной ситуации, где:

- значения деформации не нужны для проверки эксплуатационной пригодности;
- имеет место установленный сравнительный опыт в подобном грунте, конструкциях и методе использования».

Эта статья должна быть увязана со статьей, которая касается методов расчета фундаментов мелкого заложения (п. 6.4(5)Р EN 1997-1:

«(5)Р Для фундаментов мелкого заложения должен быть использован один из следующих проектных методов:

- *прямой метод, при котором выполняется отдельный расчет для каждого предельного состояния. При проверке предельного состояния по прочности расчет должен моделировать наиболее достоверным образом данный механизм разрушения. При проверке предельного состояния по эксплуатации следует использовать расчет осадок;*

- *непрямой метод, который использует сравнительный опыт и результаты полевых или лабораторных испытаний или обследований, и выбранный по предельному состоянию эксплуатационной пригодности, чтобы удовлетворять требованиям всех предельных состояний;*

- *метод указаний, при котором используется ожидаемая несущая способность (см. 2.5»).*

Действительно, непрямой метод, «выбранный по предельному состоянию эксплуатационной пригодности», приводит к использованию традиционного метода расчета несущей способности фундаментов мелкого заложения, т. е. простого расчета, который приравнивает приложенные нагрузки к предельному состоянию по эксплуатационной пригодности при предельном нагружении, деленном на достаточно высокий общий коэффициент надежности (обычно около 3). Обычно, как указано в Еврокоде 7, это может быть допустимо только в том случае, когда нет необходимости оценивать осадки фундамента и если имеют место обычные конструкции при хорошо известных грунтовых условиях.

П. 2.4.8(2) Части 1 Еврокода 7, цитируемый выше, показывает, что частные коэффициенты для SLS, которые обычно принимаются равными 1,0 (иными словами – расчетные значения разных параметров равны их характеристическим значениям), используются для воздействий, повторяемых или квазипостоянных сочетаниях, а также для назначения геотехнических свойств, таких как модуль деформации. Необходимо отметить, что для определения, например, неравномерной осадки могут быть выбраны группы низких и высоких характеристических значений, чтобы учесть отличие свойств грунта.

Что касается использования сочетаний воздействий для SLS, то EN 1990 дает (в редакционных примечаниях) некоторые указания, обобщенные в таблице 5 (п. 6.5.3 EN 1990).

Таблица 5 – Рекомендуемые сочетания воздействий для расчета предельного состояния по эксплуатационной пригодности SLS

Сочетания воздействий	Использование согласно EN 1990
Характеристические	Необратимые предельные состояния
Повторные	Обратимые предельные состояния
Квазипостоянные	Долгосрочный результат и проявление

Если используется уравнение 2.10 п. 2.4.8(1)P, то это показывает, что должны быть рекомендуемые повторные или квазипостоянные сочетания; с другой стороны, в случае альтернативного метода, разрешенного п. 2.4.8(4), имеется в виду, что необходимо использовать характеристические («исключительные») сочетания, поскольку опыт, полученный ранее, был точнее для нагружений, близких к этому виду сочетаний.

Последний общий параграф Еврокода 7 – Часть 1 для SLS снова касается «подхода к перемещениям». Он устанавливает (п. 2.4.8 EN 1997-1), что:

«(5)P Предельным значением для отдельной деформации является величина, при которой предельное состояние по эксплуатационной пригодности, такое как недопустимые растрескивание или заклинивание дверей, считается за допустимое в несущей конструкции. Эта предельная величина может быть установлена при расчете несущей конструкции».

Использование этих общих статей уточняется в Еврокоде 7 – Часть 1 для каждой геотехнической конструкции (в разделах для фундаментов мелкого заложения, свайных фундаментов, удерживающих конструкций, общей устойчивости и насыпей). Интересно отметить, что документ несколько раз утверждает о трудности прогноза перемещений с требуемой точностью.

Предельные значения перемещений фундаментов

Знание предельно допустимых перемещений фундаментов является предметом первой важности, даже если оно не часто упоминается. Эти предельные значения зависят, обычно, от природы удерживаемой конструкции, но также длительное время вызывают интерес в геотехнике (сводные данные, собранные для зданий и мостов, приведены в работе Р. Франка [12]).

Предельные значения перемещений фундаментов являются, в частности, предметом п. 2.4.9, а также информационного приложения Н Еврокода 7 – Часть 1. Отмечено, что п. 2.4.9 содержит 4 строгих принципа, т. е. п. (1)P...(4)P. Первый из них свидетельствует:

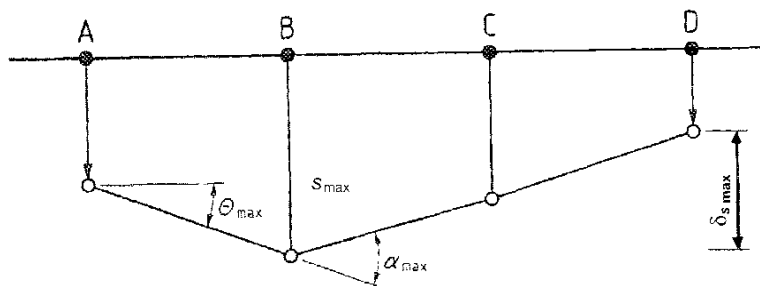
«(1)P При расчете должны быть установлены предельные значения перемещений фундаментов».

Примечание: Допустимыми перемещения фундаментов могут быть установленные Национальным приложением».

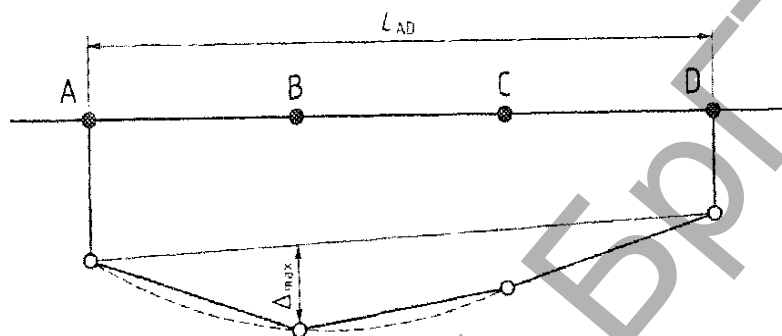
Более того, видно, что здесь рассматривается не только SLS, но и ULS (поскольку перемещения фундаментов могут инициировать появление предельных состояний в удерживаемых конструкциях).

Еврокод 7 дает перечисление ряда факторов, которые могут быть учтены при установлении предельных величин перемещений. Важно, что эти предельные величины устанавливаются на реальной основе, при тесном сотрудничестве геотехников и строителей. Если эти значения очень «жесткие», то они приводят к неэкономичному проектированию.

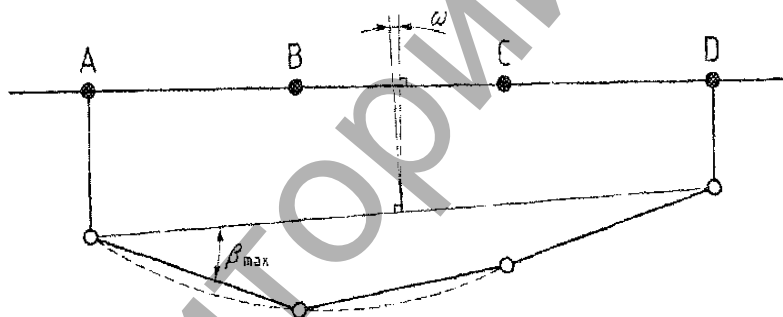
Рисунок 5 поясняет параметры, используемые для назначения перемещений и деформаций конструкций. Этот рисунок, созданный J.D. Burland и С. P.Wroth [2], воспроизводится в приложении Н Еврокода 7 – Часть 1.



а) обозначения осадок s , неравномерной осадки δ , поворотов θ и α



б) обозначения относительного отклонения Δ и соотношения Δ/L



в) обозначение крена ω и относительного поворота (угловая дисторсия) β

Рисунок 5 – Обозначения перемещений фундамента и деформаций конструкций [2]

Справочное приложение Н устанавливает следующие границы [1]:

- для открытых каркасных конструкций, заполненных каркасов и несущих каменных стен для исключения появления SLS в конструкции применяются максимальные относительные повороты, которые находятся между $1/2000$ и $1/300$;
- для большинства конструкций принимается максимальный относительный поворот $\beta = 1/500$ для расчетов по эксплуатационной пригодности SLS и $\beta = 1/150$ – для расчета по прочности ULS; для обычных конструкций с отдельно стоящими фундаментами допустимыми являются общие осадки до 50 мм.

Эти значения могут служить в качестве руководства при отсутствии иных указаний о предельных значениях для деформаций конструкций.

Следует отметить, что в границах системы Европейских норм существует, обычно, много связей между различными стандартами или их частями. Еврокод 7 по геотехническому проектированию связан с такими из них, как:

- EN 1990: «Основы строительного проектирования», который назначает различные предельные состояния и проектные ситуации, подлежащие проверке, и дает общие правила для учета взаимодействий на/от конструкций и геотехнических воздействий;

- EN 1889-5: «Проектирование сейсмостойких конструкций. Фундаменты, удерживающие конструкции и геотехнические аспекты»;

- CEN/TC 341 «Геотехнические исследования и испытания», упомянутый раньше;

- CEN/TC 288 «Выполнение геотехнических работ»;

- CEN/TC 189 «Геотекстиль и сопутствующие продукты»;

- CEN/TC 227 «Дорожные материалы».

Заключение

Для всей строительной индустрии важно утверждение статуса Еврокода 7 в разных странах. Это означает, что появляется инструмент, который поможет Европейским геотехникам разговаривать одним техническим языком, а также необходимый инструмент для диалога между геотехниками и инженерами-строителями.

Еврокод 7 помогает развивать исследования. Очевидно, он стимулирует вопросы в области геотехнической практики, от исследования грунта до расчетных моделей.

Есть уверенность, что он будет также полезен многим геотехникам и инженерам-строителям во всем мире, а не только в Европе.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Burland J.B., Broms B.B., De Mello V.F.B. // Behavior of foundations and structures. Proc. 9th Int. Conf. Soil Mechs & Fnd Engng, Tokyo, v. 2, 1977, pp. 495-546.
2. Burland J.B., Wroth C.P. // Settlement of buildings and associated damage (Review Paper, Session V). Proc. Conf. Settlement of Structures, Cambridge, 1975, pp. 611-654.
3. CE (2003a) Guidance paper L. Application and use of the Eurocodes, ref.: CONSTRUCT 03/629 Rev. 1. European Commission, Brussels, 27 November 2003.
4. CE (2003b) Commission recommendation of 11 December 2003 on the implementation and use of Eurocodes for construction works and structural construction products (2003/887/EC). Official Journal of the European Union, EN, L 332/62&63, 19.12.2003.
5. CEN (1994) Eurocode 7 Geotechnical design - Part 1: General Rules. Pre-standard ENV 1997-1. European Committee for Standardization (CEN): Brussels, 1994.
6. CEN (1999a) Eurocode 7 Geotechnical design - Part 2: Geotechnical design assisted by Laboratory Testing. Pre-standard ENV 1997-2. European Committee for Standardization: Brussels, 1999.
7. CEN (1999b) Eurocode 7 Geotechnical design - Part 3: Geotechnical design assisted by Field Testing. Pre-standard ENV 1997-3. European Committee for Standardization: Brussels, 1999.
8. CEN (2002) Eurocode: Basis of structural design. European standard, EN 1990:002. European Committee for Standardization: Brussels, 2002.
9. CEN (2004) Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules, EN 1997-1: 2004(E), (F) and (G), European Committee for Standardization: Brussels, November 2004.
10. CEN (2006) Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing. Final draft, preen 1997-2, European Committee for Standardization: Brussels, February 2006.
11. EC7 (1990) Eurocode 7: Geotechnics. Preliminary draft for the European Communities, Geotechnic, 1990.
12. Frank R. // Quelques developpements recent sur le comportement des fondations superficielles (Rapport general, Session 3), Comptes rendus 10eme Cong. Europeen Meca. Sols et Tr. Fond., Florence, v.3, 1991, pp. 1003-1030 (English version: Some recent developments on the behavior of shallow foundations. General report, Proc. 10th European Conf. Soil Mechs & Fnd Engng, Florence, v. 4, 1994, pp. 1115-1141).
13. Frank R., Bauduin C., Driscoll R. etc. Designer's Guide to EN 1997 Eurocode 7 - Geotechnical Design, Thomas Telford, London 2004, 216 p.
14. Frank R., Magnan J.P. // Quelques reflexions sur la verification des etats limites ultimes suivant l'Eurocode 7 (in English - A new thoughts about ultimate limit states verification following Eurocode 7). Workshop on the Eurocodes, Proc. 12th European Conf. Soil Mechs. & Geot. Engng, Amsterdam, v. 3. 1999, pp. 2179-2183.
15. Huybrechts N., Patel D, De Vos M. The use of the observation method. Final Report WP3 on Innovative design methods in geotechnical engineering European network "GeoTechNet", 2005.