



ПРОЕКТИРАНЕ НА ПЛОСКО ФУНДИРАНЕ СПОРЕД ЕВРОКОД 7 И СРАВНЕНИЕ С ДОСЕГАШНИТЕ БЪЛГАРСКИ НОРМИ – ГРАНИЧНИ СЪСТОЯНИЯ

Чавдар Колев
ch_kolev@abv.bg

Доцент, д-р инж., ВТУ „Тодор Каблешков”, София, България, София, ул. „Гео Милев” 158
БЪЛГАРИЯ

Резюме: В доклада е направен сравнителен анализ на Еврокод 7 и нашите досегашни Норми за проектиране на плоско фундиране по отношение на граничните състояния. Разгледани са и конструктивните изисквания. Тълкуван е замисълът на новия стандарт и са изтъкнати преимуществата и новите моменти, с които са обогатени теорията и практиката.

Ключови думи: носимоспособност, гранично състояние, частни коефициенти, проектен подход, деформации, модул на деформация.

УВОД

Граничните състояния не са новост за българските инженери, защото са навлезли в нашите стандарти преди повече от четиридесет години, но в Еврокод има съвременно разглеждане и класифициране на тези състояния.

1. ПРОЕКТИРАНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ГРАНИЧНИ СЪСТОЯНИЯ

Необходимата проверка за експлоатационните гранични състояния е:

$$(1) \quad E_d \leq C_d,$$

където: E_d е изчислената проектна стойност на ефекта от въздействието, в т.ч. слягане или наклоняване;

C_d – граничната проектна стойност на ефекта от въздействието, т.е. максималното допустимо слягане или наклоняване;

При проектирането на експлоатационните гранични състояния всички частни коефициенти са единици, т.е. изчислява се с характеристикните стойности. Това напълно съответства и на досегашните наши представи и норми по Метода на граничните състояния.

Освен чрез общите принципи в раздел 2 (2.4.8 и 2.4.9) Еврокод 7 [1] регламентира проектирането на експлоатационното гранично състояние в т. 6.6 на раздела за плоско фундиране с подточките: основни положения, слягане, подем, вибрационен анализ. В специалното информационно приложение F са разгледани примерните методи за оценка на слягането: напрежение–деформации и приспособеният метод на еластичността. Слягането се разглежда в двете си възможни състояния – дренирано и недренирано, както и чрез хронологичен анализ – поведение на слягането във времето. Дефинирани са трите времеви компонента: мигновено слягане s_0 , слягане от консолидация s_1 и слягане от пълзене s_2 .

Граничните стойности на деформациите и преместванията на фундаментите са предложени в информационното приложение Н. В Националното приложение [2] са записани таблици NA.2 и NA.3, аналогично на нашите НППФ [3] с граничните стойности за слягане и завъртане на различните типове конструкции.

Има няколко най-важни изисквания в Еврокод 7 за изчислението на сляганята и деформациите:

– сляганята задължително трябва да се изчислят при фундиране в слаба почва съгл. 6.6.1(3);

– изчислението на преместванията на фундаментите за сравнение с експлоатационните критерии става с изчислителни товари за експлоатационно гранично състояние съгл. 6.6.1(5); частните коефициенти в тези случаи обикновено са единици;

– изчисленията на слягането включват както мигновеното, така и слягането във времето съгл. 6.6.2(1).

При фундиране върху глина трябва да се определи отношението между носимоспособността и граничния експлоатационен товар в недренирано и в експлоатационно състояние. Когато отношението е по-малко от 3, слягането задължително подлежи на изчисление. Когато отношението е по-малко от 2, изчисленията следва да отчитат нелинейната коравина на земната основа.

Слягане

Слягането може да се изчисли по няколко различни начини, основани на Закона на Хук и предпоставката за свеждане на почвата към линейна зависимост между натоварване и деформации.

В Еврокод 7 специалното приложение F има само информационен статус и е озаглавено „Примерни методи за оценка на слягането“. Има основание за подобна некатегоричност, защото точните прогнози на слягането зависят от точността на методите за определяне на кривите на слягане, както и от точността на аналитичните модели. В документа са разгледани два метода: „Напрежения – деформации“ и т.нар. „Приспособен метод на еластичността“. Те съответстват на българските норми. Първият представлява нашия Метод на послонното сумиране, а вторият се отнася за еднородна земна основа с подчертано еластични деформационни характеристики, т.е. при много плътна почва.

По втория метод формулата има вида:

$$(2) \quad s = b.p. \frac{f}{E_m},$$

където: E_m е изчислителната стойност на модула на еластичност (модул на Юнг);

f – коефициентът на слягане (определян по таблици или графики);

p – земната реакция, линейно разпределена по основната плоскост;

b – ефективната ширина на фундамента.

В българските НППФ аналогията е почти пълна с формулата за приблизително бързо изчисление на слягането от Приложение 4 към чл. 80:

$$(3) \quad s = \beta.b.p. \frac{f}{E_{a,cp}}.$$

Разликата е в емпиричния корекционен коефициент β и в смисъла на $E_{a,cp}$. Тук се използва модулет на обща деформация, а не на еластичност. Обикновено модулет на обща деформация е от 2 до 4 пъти по-малък от този на еластичност.

Коефициентът на слягане също отчита формата, размерите на основната плоскост, изменението на коравината в дълбочина, дебелината на деформируемите пластове, мястото на точката, за която се изчислява слягането. Деформационният модул съответства на този за обща деформация.

Изобщо този приблизителен Приспособен метод на еластичността, както и приблизителната формула от българските норми не могат да бъдат меродавни в общия случай. Само при сбит пясък или твърда глина, подобна на полускала и мергел, би могло да се търси подходящо приложение. Тогава отношението между двата модула ще бъде в границите на реципрочната стойност на коефициента β и резултатите ще са съпоставими.

При почви с подчертано пластични свойства, както и при слягане в резултат на консолидация следва да се обърне сериозно внимание при приложението на метода, както и да се проведе изчисление и по други емпирични методи. В различните европейски държави са се наложили различни традиции за приложение на полеви изследвания и емпирични зависимости за деформациите. Има натрупани редица данни за сляганята на сградите според типа на конструкцията и земната основа. Затова за много от тях е лесно да се позоват на втория метод, когато е възможно. За нас тези възможности ще бъдат разгледани след официалния превод на втората част от ЕС7 и утвърждаването на Националното приложение.

Стойностите на допустимите сляганя според Приложение Н на ЕС7 обикновено са 5 cm, но за единични фундаменти те могат да бъдат и повече, стига да няма прекомерни ротации или да не се засягат инсталациите на сградите.

Дадените в Националното приложение [2] две таблици за равномерните (NA.2) и неравномерните (NA.3) премествания на фундаментите са приложени към това ръководство. За България те са меродавни, макар да разглеждат предимно типове конструкции, които са безвъзвратно остарели и вече не се прилагат (едропанелни, пакетно-повдигащи, тухлени неармирани стени). На този етап за деформациите на уникални много високи и тежки сгради или съоръжения трябва да се съблюдават индивидуални технологични изисквания или да се съобразява с практиката и нормите на други държави, където такива случаи са по-обстойно разработвани.

При изчисление на слягането се сравняват двете му съставки:

- мигновеното слягане s_0 ;
- слягането след консолидация s_1 .

Мигновеното и консолидираното слягане не са специално разделени в нашите НППФ. Там е записано, че при изследване на деформациите във времето се допуска приложението на Теорията за филтрационната консолидация. В стандартите за провеждане на лабораторни компресионни опити и опити за плоско и триосно срязване се изисква изчакване на консолидацията при условия за дрениране.

Мигновеното слягане може да се представи чрез Теорията на еластичността (Приложение F, т. F.2) по Приспособения метод на еластичността:

$$(4) s_0 = p(1 - \nu_u^2) Bf / E_u,$$

където p е общото SLS напрежение, въздействащо върху основната плоскост на фундамента;

B – ширината на фундамента;

E_u – модул на Юнг, т.е. модулът на еластичност на земната основа;

ν_u – коефициентът на *Poisson*;

f – коефициентът на слягане, чиято стойност зависи от начина на фундиране и коравината.

Консолидираното слягане се изчислява чрез подразделяне на земната основа под фундамента на пластове и се прилага следната формула:

$$(5) s_1 = \sum m_v h \Delta \sigma',$$

където: m_v е коефициентът на обемно уплътняване (определен като постоянен за всеки подразделен пласт);

h – дебелината на пластове;

$\Delta \sigma'$ – нарастването на ефективните напрежения в пластове във вертикална посока.

Слягането и наклоняването на фундаментите по ЕС7 по принцип не се отличават много от нашата практика и НППФ. Натрупаният световен опит е позволил да се запише в ЕС7 възможността да не се правят изчисленията за слягане, когато отношението между носимоспособността $R_{u,k}$ и граничния експлоатационен товар V_k е по-голямо от 3, а когато то е над 2, не се налага отчитането на пластичния характер на почвата, т.е. когато очевидно проблемът липсва.

В НППФ няма такова освобождаване от проверки, но има подобни формули (т. 15 и т. 11 от Приложение 4), за които вече стана въпрос, със същата теоретична основа, които допускат предварително ориентировъчно изчисление за слягането или наклоняването. Всички тези опростени решения улесняват прилагането на математическите модели на конструкцията със съвременни програми, където изчисленията се привеждат към линейни зависимости. Това не изключва необходимостта, разбира се, при проблемните случаи (по-слаба почва и по-висока степен на натоварване) изчислението за слягане да се проведе по общоприетия Метод на послонното сумиране с диференцирано отчитане на деформационните модули според проектното натоварване. Груба грешка е практиката у нас съблюдаването на Земната механика в проектите за сгради да приключва след проверка на напреженията под фундаментната плоча с условното почвено съпротивление R_0 и моделиране на земната основа априори като еластична среда по модела на Винклер. Еврокод 7 дава именно такива количествени критерии за игнорирането или не на проблема със слягането (завъртането).

НППФ имат немалко разновидности на изчислителните схеми за слягането според размера на активната зона. Това от своя страна би могло да се счита като друг тип подход към опростяване на изчислителните процедури чрез отчитане на конкретни геоложки, механични или конструктивни предпоставки.

В НППФ е казано, че се допуска намаляване на размерите на основната плоскост след доказване, че прогнозното слягане е два или повече пъти по-малко от граничното. В ЕС7 няма точно такъв запис, но изпълнението на проверката за разрушение на земната основа предопределя по-икономично решение, а възможността за евентуално скъсяване на размерите по принцип се подразбира при изпълнени всички други условия.

Наклоняване

Според 6.6.2(15) на Еврокод 7 наклоняването от ексцентричен товар следва да се оцени чрез послонно сумиране на слягането за ръбовите точки на фундамента и след това наклонът на основната плоскост да се изчисли чрез разликата в сляганията. Друга възможност за това са бързите приблизителни решения чрез уравнения от Теорията на еластичността, които се прилагат в редица държави, подобно на това за слягането. Разбира се, те са валидни само при много плътна почва.

Такава формула е регламентирана и в нашите НППФ. Това е формулата на Горбунов – Посадов:

$$(6) \quad \operatorname{tg}\theta_a = \frac{1-\nu_{\text{cp}}^2}{E_{\text{cp}}} \cdot k_a \cdot \frac{M_a}{\left(\frac{a}{2}\right)^2},$$

където: θ_a е ъгълът на наклона на основната плоскост на фундамента, rad;

ν_{cp} – среден коефициент на *Poisson*;

E_{cp} – среден модул на обща деформация;

k_a – коефициент за формата;

M_a – момент от конструкцията по направление на дългата страна a ;

a – по-дългата страна на фундамента.

2. Проектиране на конструкцията на плоските фундаменти

В т. 6.8 на Еврокод 7.1 са дадени общите изисквания за конструирането на плоските фундаменти. Те не се различават от досегашните наши познания и норми. Дават се възможности както за бързи решения, така и за прецизни изчисления при по-отговорни случаи.

Земната реакция при корави фундаменти може да се приеме за линейно разпределена. При огъваеми фундаменти (ивици или плочи) моделирането може да бъде както по *Boussinesq* (като непрекъсната линейно-деформируема среда), така и по *Vinkler* (с пружинки). При определянето на модула на еластичност на земната основа под огъваеми фундаменти следва да се внимава стойностите на земната реакция да не надхвърлят тези, които са при корав фундамент с

линейно разпределение. За по-прецизни изчисления на взаимодействието конструкция – земна основа се препоръчва Методът на крайните елементи.

Съображенията за избор на дълбочината на фундиране, пласта за фундиране, влиянието на съседните фундаменти и др. остават същите както досега. Те зависят от топографията, климата, геоложкия строеж, подземната вода, проектното натоварване и са изредени в т. 6.4 на EC7.1.

Има препращане и към малко познатия у нас евростандарт БДС EN ISO 13793:2003 – Топлинно проектиране на основи за предотвратяване на вертикални колебания при замръзване.

Познатите оразмерителни проверки за височината на фундамента (огъване и срязване), за продъвяване на стоманобетонните фундаменти и др. не са изрично споменати в EC7 и се извършват както и досега с изчислителните характеристики според съответния проектен подход. Тези проверки обаче са описани в EC2.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Еврокод 7: Геотехническо проектиране, Част 1: Основни правила. БДС EN 1997-1:2005.
- [2]. Еврокод 7: Геотехническо проектиране, Част 1: Основни правила / Национално приложение. БДС EN 1997-1/NA:2007.
- [3]. Норми за проектиране на плоско фундиране. Приложение към чл. 2, ал. 1 от Наредба №1 на МТСБ, 1996.

DESIGNING OF SHALLOW FOUNDATIONS ACCORDING EC7 IN COMPARISON WITH EXISTING BULGARIAN CODES – LIMIT STATES

Chavdar Kolev

Assoc. Prof. University of Transport “Todor Kableshcov”, Sofia, 15, Geo Milev Street
BULGARIA

Key words: *bearing capacity, limit states, partial factors, design approaches, direct and non-direct methods.*

Abstract: *Comparative analysis between EC7 and the existing Bulgarian codes is explained in this paper in respect to the limit states problems. The structure requirements are presented too. The general mind of EC is comment, its advantages and new moments for the theory and practice are cleared in the paper.*