

ВЛИЯНИЕ НА МОДЕЛА НА ЗЕМНАТА ОСНОВАТА ВЪРХУ СЕИЗМИЧНОТО РЕАГИРАНЕ НА ВРЪХНАТА КОНСТРУКЦИЯ

Л. Любенов¹, Б. Банков²

Ключови думи: еластична основа, метод на крайните елементи, винклерова константа, сеизмично поведение

Научна област: механика

РЕЗЮМЕ

Анализира се влиянието на модела на земната основа върху сеизмичното реагиране на връхната конструкция. Разглеждат се няколко модификации на модела на Винклер, които не водят до големи усложнения при моделирането на конструкцията. Проведено е числено изследване и са анализирани резултатите. От анализа им се установи, че в общия случай те се влияят по-скоро от стойностите на пружинната константа, а не от начина на разпределението на реакцията под основната плоскост. В заключение можем да отбележим, че решаваща роля в изследването на конструкцията на сеизмични въздействия има определянето на стойността на винклеровата константа.

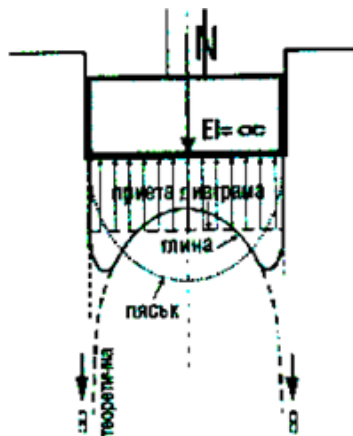
1. Формулиране на задачата

Традиционно се приема, че поведението на връхната конструкция при сеизмично натоварване в значителна степен се влияе от разпределението на земната реакция под фундамента. Изчислителният модел трудно може да отрази достатъчно точно сложното поведение на земната основа. Въпреки голямото разнообразие от модели обаче все още най-популярен и приложим остава моделът на Винклер. Това се дължи най-вече на неговата простота. Именно това е причината за широкото му прилагане в софтуера за анализ на строителни конструкции. Не можем да пренебрегнем обаче с лека ръка главния му недостатък – този метод не отчита разпределителната способност на реалната фундаментна основа, поради което представата за разпреде-

¹ Любен Евтимов Любенов, гл. ас д-р инж., кат. „Информатика визуални изкуства и комуникации”, ВСУ „Любен Каравелов”, ул. „Суходолска“ № 175, София

² Банко Петков Банков, проф. д-р инж., кат. „Механика и математика”, ВСУ „Любен Каравелов”, ул. „Суходолска“ № 175, София

лението на реакцията е доста схематизирана. В съответствие с приетия модел реакцията се отчита като константна под корави фундаменти. Реално обаче при свързани почви се наблюдава завишаване на реакцията под ръбовете на фундамента и по-ниски от теоретичните стойности към центъра, както се вижда от диаграмите на фиг. 1.



Фиг. 1

Изхождайки от определението на винклеровата константа и действителното разпределение на земната реакция под корави фундаменти, е логично да стигнем до извода, че под ръбовете на фундамента земната основа има по-голяма коравина, респективно по-големи стойности на коефициента на леглото.

Различни изследователи: Горбунов-Посадов, Садовски, Симвулиди, Егоров, Бирман, Самарин и Крашенинникова и др. предлагат различни теоретични формулировки за разпределението на реакцията.

В настоящата работа се разглежда идеята за модифициране на винклеровия модел така, че да се отрази по-адекватно действителното разпределение на земната реакция. Разгледани са три такива модела, които се основават върху една и съща идея.

Първият модел е предложен от Казаков в [10]. Моделът, предложен от Казаков, е разработен на база теорията на Власов и Леонтьев [3] и се състои в следното: въвежда се модифициран коефициент на леглото по контура на фундамента. Стойността на този допълнителен коефициент на леглото за правоъгълни в план фундаменти според [10] трябва да бъде

$$k^* = 0,355kb\sqrt{1-\nu}, \quad (1)$$

където k е коефициент на леглото под фундамента;

b – широчина на фундамента;

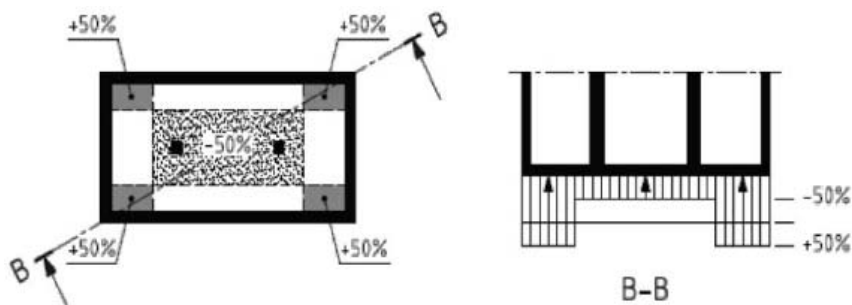
ν – коефициент на Поасон за съответната земна основа.

Вторият модел е разгледан в [21] и [22]. Същността му е следната: основната плоскост се разделя на няколко вписани една в друга зони (обикновено три), като размерите на най-вътрешната зона трябва да са равни на половината от съответните външни размери. Винклеровата константа трябва да нараства прогресивно, като стойността ѝ в най-крайната зона се приема два пъти по-голяма от тази в най-вътрешната. Идеята на модела е илюстрирана на фиг. 2.



Фиг. 2

Третият модел е приет в Eurocode 7. Разпределението на винклеровата константа при този модел е илюстрирано на фиг. 3.



Фиг. 3

Фундаментът се разделя на девет зони, като широчината на крайните ивици е $1/4$ от съответните размери. Винклеровата константа се завишава с 50% в четирите края на основната плоскост и се намалява също с толкова във вътрешната зона.

Разгледаният в еврокод метод доста добре кореспондира с приетото разпределение на земната реакция под корави фундаментни плочи, предложено от Жемочкин [2] и [8].

2. Параметрично изследване

В [13] бе разгледано влиянието на описаните модели върху разрезните усилия във фундаментната плоча. Тук, в съответствие с формулирането на задачата в т. 1, ще изследваме как реагира връхната конструкция при сеизмично въздействие в зависимост от начина на моделиране на земна основа. Тя е представена последователно чрез винклеров модел и трите споменати по-горе модификации.

Разглежданата 6-етажна сграда с типово разпределение и конструкция е монолитна, стоманобетонна конструкция, като сеизмичната сила се поема от стоманобетонни шайби. Фундирането е решено с фундаментна плоча. Тя е правоъгълна в план и има следните размери: 29,4 m на 16,9 m. Натоварванията са приети според действащите нормативни документи. Изчислителният модел е пространствен и е реализиран с

помощта на Radimpex Tower. Всички конструктивни елементи са моделирани като идеално еластични, без редуция на коравината.

Винклеровата константа при сеизмично въздействие е приета

$$k_{AVG} = 40000 \text{ kN/m}^3.$$

При така приетата константа ще получим допълнителния коефициент на леглото по ръбовете на фундамента по формула (1.1)

$$k^* = 0,355kb\sqrt{1-\nu} = 185888 \text{ kN/m}^2.$$

За втория модел ще имаме (фиг. 4) три зони с площи както следва:

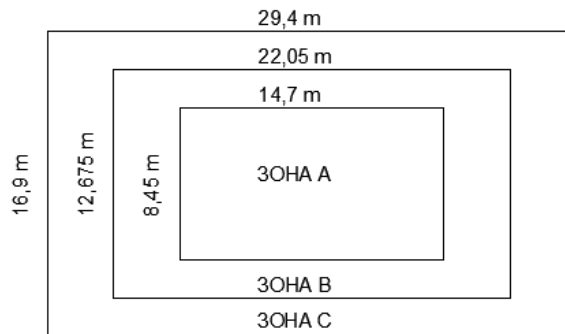
$$\text{Зона А} \quad A_A = 14,7 \times 8,45 = 124,22 \text{ m}^2;$$

$$\text{Зона В} \quad A_B = 22,05 \times 12,675 - 14,7 \times 8,45 = 155,27 \text{ m}^2;$$

$$\text{Зона С} \quad A_C = 29,4 \times 16,9 - 22,05 \times 12,675 = 217,38 \text{ m}^2.$$

Тогава за разпределението на винклеровата константа по зони ще имаме:

$$A_A k_A + A_B (1,5k_A) + A_C (2k_A) = (A_A + A_B + A_C) k_{AVG}.$$



Фиг. 4

След заместване на известните стойности в горния израз получаваме линейно уравнение, решението на което е $k_A = 25098 \text{ kN/m}^3$. Респективно за другите две зони имаме $k_B = 37647 \text{ kN/m}^3$ и $k_C = 50196 \text{ kN/m}^3$. При третия модел имаме разпределение според фиг. 3, като коефициентът на леглото в отделните зони е съответно k_{AVG} , $1,5k_{AVG}$ и $0,5k_{AVG}$ или 40000 kN/m^3 , 60000 kN/m^3 и 20000 kN/m^3 съответно.

В съответствие с препоръките на [18] ще разгледаме различни случаи, коригирайки стойностите на k_{AVG} с теглови коефициенти от 0,5 до 10. Сравнението ще бъде извършено и при четирите изчислителни модела по трите основни периода на трептене, след провеждането на модалния анализ.

3. Резултати

Резултатите са нанесени в таблици (от табл. 1 до табл. 4).

Таблица 1. Собствени периоди на трептене при винклеров модел

	Винклерова константа						
	$0,5k_{AVG}$	k_{AVG}	$2k_{AVG}$	$3k_{AVG}$	$4k_{AVG}$	$5k_{AVG}$	$10k_{AVG}$
T1	0,7355	0,6730	0,6189	0,5893	0,5692	0,5542	0,5114
T2	0,6599	0,6095	0,5628	0,5377	0,5209	0,5085	0,4734
T3	0,5601	0,5152	0,4736	0,4503	0,4342	0,4219	0,3856

Таблица 2. Собствени периоди на трептене при Модел 1

	Винклерова константа						
	$0,5k_{AVG}$	k_{AVG}	$2k_{AVG}$	$3k_{AVG}$	$4k_{AVG}$	$5k_{AVG}$	$10k_{AVG}$
T1	0,6113	0,5593	0,5123	0,4881	0,4728	0,4621	0,4345
T2	0,5771	0,5327	0,4926	0,4713	0,4572	0,4469	0,4191
T3	0,4483	0,4043	0,3638	0,3283	0,3283	0,3184	0,2928

Таблица 3. Собствени периоди на трептене при Модел 2

	Винклерова константа						
	$0,5k_{AVG}$	k_{AVG}	$2k_{AVG}$	$3k_{AVG}$	$4k_{AVG}$	$5k_{AVG}$	$10k_{AVG}$
T1	0,7162	0,6625	0,6102	0,5812	0,5548	0,5402	0,5045
T2	0,6461	0,6021	0,5566	0,5319	0,5111	0,4991	0,4688
T3	0,5465	0,5036	0,4622	0,4390	0,4224	0,4103	0,3751

Таблица 4. Собствени периоди на трептене при Модел 3

	Винклерова константа						
	$0,5k_{AVG}$	k_{AVG}	$2k_{AVG}$	$3k_{AVG}$	$4k_{AVG}$	$5k_{AVG}$	$10k_{AVG}$
T1	0,7932	0,6645	0,6139	0,5855	0,5658	0,5511	0,5331
T2	0,7041	0,6032	0,5581	0,5335	0,5170	0,5048	0,4869
T3	0,5898	0,4964	0,4561	0,4337	0,4183	0,4067	0,4122

Анализът на резултатите от числените примери показва, че те се влияят в решаваща степен непряко от начина на разпределението на реакцията под основната плоскост, а от стойностите на пружинната константа. С особена сила това важи за първата собствена честота (респективно период) на трептене. За различни стойности на пружинната константа по препоръки на [18] се забелязва, че при увеличаването им съответните стойности на собствените периоди намаляват с до около 30%, което по принцип е логично. Последното обаче води до съответно увеличаване на етажната сеизмична сила. Отклонение от описаната тенденция се наблюдава при Модел 1, където реакцирането на конструкцията се доближава повече до такова на модел с пълно запъване в основата. От разгледания пример се вижда, че докато по отношение на усилията във фундаментната плоча решаваща роля играе моделът на разпределение [13], то по отношение на сеизмичното реагиране на конструкцията влиянието му е пренебрежимо.

4. Заключение

От проведеното параметрично изследване можем да направим извода, че при различните модели на земна основа разликата в периодите на трептене на връхната конструкция е незначително. По отношение на самата стойност на винклеровата константа обаче разликата е осезаема.

В заключение можем да отбележим, че решаваща роля в изследването на конструкцията на сеизмични въздействия има определянето на винклеровата константа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балушев, Б. и др.* Земна механика. Техника, София, 1975.
2. *Божинов, Б., Т. Етимов, Д. Гочева-Райкова.* Изчисляване на конструкции върхуеластична основа. Техника, София, 1982.
3. *Власов, В. З., Н. Н. Леонтьев.* Балки, плиты и оболочки на упругом основании. Гос. Издат. Физ.-мат. лит., 1960, Москва.
4. *Горбонов-Посадов, М. И.* Расчет конструкций на упругом основании. Госстройиздат, 1953, Москва.
5. *Горбонов-Посадов, М. И., М. И. Маликова.* Расчет конструкций на упругом основании. Стройиздат, 1973, Москва.
6. *Далматов, Б. И.* Механика грунтов, основания и фундаменты. Стройиздат, 1988, Ленинград.
7. *Егоров, К. Е.* О деформации основания конечной толщины. ОФМГ, 1961, № 1.
8. *Жемочкин, Б. Н., А. П. Сеницын.* Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. Госстройиздат, 1962, Москва.
9. *Илов, Г. и др.* Фундиране. Укрепителни конструкции и фундаменти. ЕРА, 2006, София.
10. *Казаков, К. С., Т. Карамански.* Модифициран модел на винклер за фундаментни плочи. Годишник на УАСГ, т. XXL, 2002, св. VI.
11. *Казаков, К. С.* Сравнителен анализ на модели за изследване на фундаментни плочи. УАСГ, дисертация, 2001, София.

12. *Клепиков, С. Н.* Расчет конструкций на упругом основании. Будівельник, 1967, Киев.
13. *Любенов, Л.* Влияние на распределение на винклеровата константа при изследване на плоча върху еластична основа. ВСУ, София, 2014.
14. *Минков, В.* Фундиране. Техника, София, 1965.
15. Норми за проектиране на плоско фундиране, 1996.
16. *Ухов, С. Б., В. В. Семеонов и др.* Механика грунтов, основания и фундаменты. АСВ, Москва, 1994.
17. *Цытович, Н. А.* Механика грунтов. Гостстройизда, 1963.
18. ACI Committee 336, Suggested design procedure for Combined Footings and Mats (ACI 336.2R-88), American Concrete Institute, Detroit.
19. *Bond, A., A. Harris.* Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis, 2008, New York.
20. *Braja, M. Das.* Principles of Foundation Engineering. Global Engineering, Stamford, (2010).
21. *Bowles, J.E.* 1998, Foundation analysis and design. McGraw-Hill International Editions, 6-th ed.
22. *Coduto, D. P.* Foundation Design: Principles and Practice. Prentice Hall, 2001, New Jersey.
23. *Das, B. M.* Principles of Foundation Engineering. Thomson, 2007, Toronto.
24. *Das, B. M.* Principles of Foundation Engineering, Global Engineering. 2010, Stamford.
25. EN 1997: Eurocode 7 – Geotechnical design structures.
26. *Hassan, I.M.* Influence of structural and soil parameters on Mat deflection. International Journal of Civil and Structural Engineering, Vol. 2, Issue1, 2011.
27. *Kameswara Rao, N.S. V.* Foundation Design: Theory and Practice. Wiley & Sons, 2011, Singapore.
28. *Kaschiev, M. S., K. Mikhajlov.* A beam resting on a tensionless Winkler foundation, Computers & Structures, 55 (2), p. 261-264, 1995.
29. *Kazakov, K.* Development of a codes applicable Soil-Structure Interaction method, ВСУ, 2009.
30. *Melerski, E. S.* Design Analysis of Beam, Circular Plates and Cylindrical Tanks on Elastic Foundations. Taylor & Francis, 2006, London.
31. *Murthy, V. N. S.* Advanced Foundation Engineering. CBS, 2007, New Delhi.
32. *Terzaghi, K.* Evaluation of coefficients of sub-grade reaction. Geotechnique, 5 (4), p. 297-326, 1955.
33. *Timoshenko, S. P. and Gere, J. M.* Theory of Elastic Stability. McGraw Hill, 1961, New York.
34. *Viladkar, M. N., P. N. Godbole, J. Noorzaei.* Modelling of interface for soil-structure interaction. Computers & Structures, 52 (4), p. 765-779, 1994.

Постъпила: декември 2014 г.

EFFECT OF THE FOUNDATION MODEL ON THE SEISMIC RESPONSE OF THE STRUCTURE

L. Lyubenov¹, B. Bankov²

Keywords: *elastic foundation, Finite Element Method, Winkler foundation modulus, seismic behaviour*

Research area: *mechanics*

ABSTRACT

The influence of the foundation model on the seismic behaviour of buildings is analysed. Several modifications of the Winkler model which do not lead to major complications in the modelling of the structure are considered. A numerical study is made and the results are analysed. It is found that, in general, seismic behaviour is affected more by the values of the spring constant, and not so much by the distribution of the reaction in the main plane. In conclusion, we can say that the influence of the foundation model on the seismic behaviour is not significant.

¹ Lyuben Lyubenov, Chief Assist. Dr. Eng., Dept. "Informatics, Visual Arts and Communications", University of Structural Engineering & Architecture, 175 Suhodolska Street, Sofia 1373

² Banko Bankov, Prof. Dr. Eng., Dept. "Mechanics and Mathematics", University of Structural Engineering & Architecture, 175 Suhodolska Street, Sofia 1373