

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИНАМИЧЕН МОДУЛ И ДИНАМИЧНО СЛЯГАНЕ ЗА ПЛОЩАДКАТА НА „НОВО ОЛОВНО ПРОИЗВОДСТВО” – КЦМ ПЛОВДИВ

Н. Керенчев<sup>1</sup>

*Ключови думи:* динамичен модул, динамично слягане

*Научна област:* динамика на почви

### РЕЗЮМЕ

Представена е част от изследване за решение на проблема при финансирането на нова инсталация за оловно производство. Поради динамичния характер на системата, определянето на динамичния модул на почвата по данни за статичен такъв и слягането, породено от това натоварване, се явява особено важно за оразмеряване на сградата. За определянето на „динамичното слягане” липсват нормативни препоръки в познатите ни норми – БДС, СНиП, DIN. Връзката между двете величини, модул–слягане, в този случай не е така ясна и зависи както от специфичните почвени параметри, така и от параметрите на конструкцията.

### 1. Въведение

Изграждането на система за оловно производство е добре познато на производителя. Геометрията и характерът на натоварването от такава система са уточнени с проектантите, тъй като подобни инсталации са изградени и в други страни. Обект на изследване в тази статия е влиянието на „производствената система” върху обслужващата конструкция и съседните сгради.

Поради голямата плътност на оловото ( $11,34 \text{ g/cm}^3$ ) и обработката му в течно състояние, съпроводено с кипене („клокочене”), при производството възникват динамични въздействия (сили). По данни на производителите на конкретната технологична система тези сили могат да достигнат до 10% от теглото на стопилката. Честотата на принудителни трептения на подобен процес се приема между 1 и 8 Hz (по изследване на заявителя), като динамиката е хаотична. Такъв тип въздействие не

---

<sup>1</sup> Николай Керенчев, асистент, инж., кат. „Геотехника”, УАСГ, бул. Хр. Смирненски 1, 1046 София, kerenchev@hotmail.com

би могло да бъде изследвано без пълни динамични данни както за натоварването, така и за земната основа. Поради липса на достатъчни *in situ* тестове, въздействието следва да бъде разглеждано като хармонично трептене с най-неблагоприятна честота. При почвите тези честоти зависят основно от деформационния модул на почвата и честотите на реагиране [1].

## 2. Земна основа и конструктивни особености

Представените геотехнически данни за площадката не включват динамични характеристики, а част от тях и не съответстват на реалните земномеханични почвени параметри. В хода на решаване на проблема тези данни се променят с оглед на получаване на реални физикомеханични повени параметри, посочени в таблица 1. Поради особения приоритет на деформационните характеристики на земната основа допълнително е направено и динамично щампово изпитване за определяне на еквивалентен статичен деформационен модул ( $E_{vd}$ ) и отношение на модулите  $E_2/E_1$  за точки, подложени на пряко динамично въздействие.

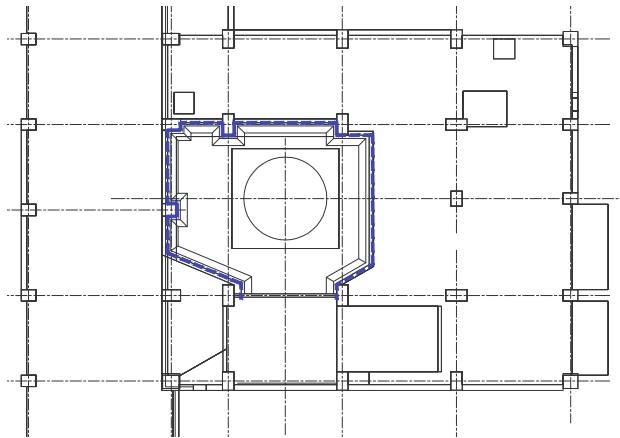
Таблица 1 – Параметри на земната основа

Характеристика	Означение	Единица	Геол. Доклад	Прието
Обемна плътност	$\rho$	g/m <sup>3</sup>	2.01	2.01
Обем на порите	$n$	-	0.6	0.375
Коефициент на порите	$e$	-	1.6	0.6
Ъгъл на вътрешно триене	$\varphi$	°	32	32
Модул на обща деформация	$E_0$	МПа	55	55
Еластичен модул	$E$	МПа	131	131
Условно изчислително почвено натоварване	$R_0$	МПа	0.6	0,6

*Забележка:* Параметрите са за земната основа от кота (- 3.00) m до кота (- 31.00) m, представена от пясъчлив чакъл с отделни валуни.

Фундаментната конструкция на металургичната камбана със стопилката в нея, препоръчана от производителя и проектанта, е паралелепипед - плътна маса от бетон с площ 133 m<sup>2</sup> и височина от 6.6 m. Около основния фундамент се изграждат фундаменти на обслужващата сграда, които минимално да се влияят от динамичното въздействие (фиг.1).

Въпреки възникването на различни по посока и ексцентрицитет динамични сили, основно въздействие върху почвата оказва натоварването във вертикална посока. При изчисляване на въздействието върху основната плоскост на фундамента се получава равномерна статична компонента  $p_{stat} = 225$  kPa и динамична компонента (за случай на центрично натоварен фундамент)  $p_{dyn} = 7.5$  kPa. Приетият базов статичен модул е  $E_s = 55$  МПа, максимална маса на фундамента и стопилката  $m = 30000$  kN. Тези параметри както и гореспоменатите геометрични размери са залегнали като основи за проведените изследвания.



Фиг. 1 – План на фундамента и част от обслужващата конструкция

### 3. Зависимости между параметрите на системата фундамент – почва.

Основните параметри имащи принос към амплитудата на трептене, а следователно и слягането, са масата и честотата на трептящата система и динамичната почвена/пружинна константа. Известно е, че тази константа зависи основно от деформационния модул на почвата. При решение на задачи от динамичен характер в зависимост от конкретния случай могат да бъдат използвани различни деформационни повени характеристики (модули), зависещи от реагирането на почвата. Общ деформационен модул – приложим при бавни деформационни процеси, динамичен модул – параметър, който характеризира почвената среда при многократно интензивно натоварване, свързан с амплитудите на трептене, еластичен модул – проявява се след многократно бавно натоварване и разтоварване.

За случаите, изброени по-долу, са използвани формулите от „Норми за проектиране на фундаменти, подложени на динамични товари от машини”, като основните засягащи амплитудата и коефициента на затихване са следните:

$$A_z = \frac{P}{K_z} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + 4 \cdot \zeta \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}; \quad \zeta_z = \frac{0.07}{\sqrt{p_m}},$$

където:

$A_z$  е вертикална амплитуда в m;

$P$  – вертикална компонента на динамичната сила, MN;

$\zeta$  – коефициент на затихване на почвата, -;

$p_m$  – средно напрежение в контактната зона, MN/m<sup>2</sup>;

$\omega_n$  – собствена честота на фундаментната конструкция, s<sup>-1</sup>;

$\omega$  – възбудителна честота, s<sup>-1</sup>,

а пружинната константа  $K_z$  и динамичната почвена константа  $C_z$  се определят със следните изрази:

$$K_z = C_z \cdot A; \quad C_z = b_0 \cdot E_0 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{10}{A}}\right),$$

където:

$A$  е площ,  $m^2$ ;

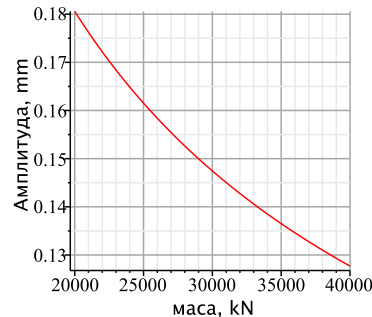
$E_0$  – общ деформационен модул,  $MN/m^2$ ;

$b_0$  – коефициент зависещ от вида почва – за несвързани почви  $b_0=1 m^{-1}$ .

#### • Влияние на масата на трептящата конструкция

Масата се явява един от основните параметри в динамичните задачи. Много от машинните фундаменти често биват „олекотявани“. В този случай изчисленията показват, че амплитудата на трептене намалява с увеличаване на масата.

Заявителите също препоръчват тежък фундамент въз основа на споделия опит с производителите на системата. Графика за влиянието на масата в реалистичен диапазон е представена на фиг.2



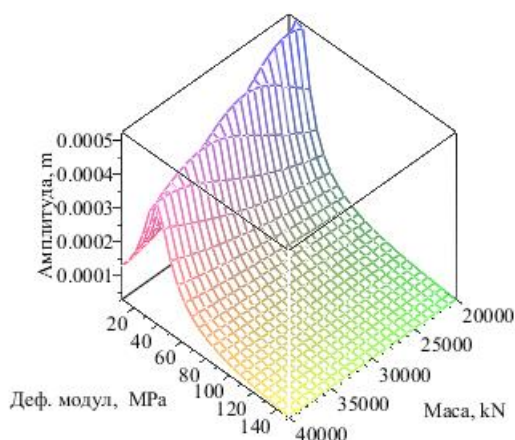
Фиг. 2 – Влияние на масата върху амплитудата на трептене на изследвания фундамент

#### • Влияние на модула

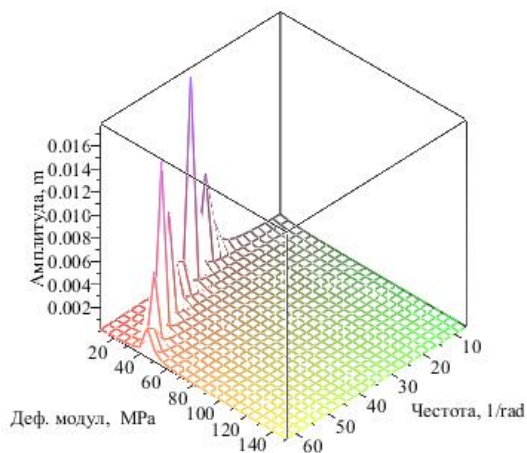
Динамичният модул (представен чрез модула на обща деформация) пряко влияе върху почвената константа  $C_z$ , от което следва пряко въздействие и върху амплитудата. За конкретния случай на фиг.3 е представена графика, даваща зависимостта на амплитудата на трептене на котела/стопилката от динамичния модул (динамичната константа е получена чрез статичния общ деформационен модул по горната формула) и масата, за честота на трептене 8 Hz.

#### • Влияние на честота на въздействие

При този тип производство благоприятно въздействие върху земната основа оказва фактът, че трептенето е с променлива честота  $1 \div 8$  Hz. При повечето от тези честоти съществува достатъчно висок коефициент на затихване [2]. Графика на влиянието на възбудителната честотата за конкретния случай въз основа на нормативния документ е показана на фиг.4. Пиковите стойности на графиката не са практически реализирани, но показват мястото на опасната зона.



**Фиг. 3 – Влияние на деформационния модул и масата върху амплитудата на трепене на фундамента.**



**Фиг. 4 – Влияние на честотата на въздействие и деформационния модул върху амплитудата на трепене на фундамента.**

**• Резонансен случай и избягването му**

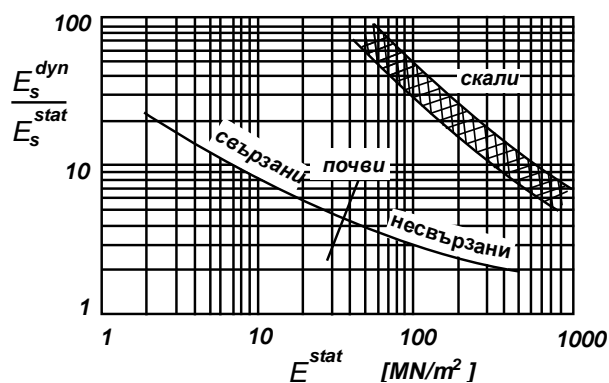
Както се вижда от няколко графики връзките между параметрите не са еднозначни и оценка на базата на един или два параметъра не може да бъде дадена. На Фиг. 3. и Фиг. 4 ясно се вижда резонансният случай, при определено съотношение на деформационния модул, масата на фундамента и възбудителната честота, като модулът на почвата в действителност е достатъчно голям, за да се избегне неблагоприятният участък.

**4. Определяне на реален динамичен модул**

Статичният модул не би следвало да бъде изходен за оразмеряването на подобна конструкция (вж. Фиг.3), въпреки че в много случаи едно такова решение би било в полза на сигурността. От гореспоменатите три модула тук се изисква

използването на динамичен модул, чието определяне става чрез динамични *in situ* тестове. Подобни тестове са изключително скъпи, тъй като за формирането на смислени резултати е необходимо, напрегнатото състояние в почвата да е максимално близко до реалното работно. Поради липса на такива данни, може да се изходи от статично изпитване (статично щампово натоварване) и/или еквивалентно статично изпитване (динамично щампово натоварване). Предимството на статичното изпитване е, че модули могат да бъдат отчетени при произволно напрежение под щампата. В реалния случай обаче данните са за напрежения до 150 kPa. Недостатък на динамичната щампа е, че модулът се отчита за натоварване от 100 kPa [3], но предимството на такова изпитване е, че дава възможност за бързо определяне на голям брой точки и информация за динамичното уплътняване.

Възможно е табличното определяне на динамичен модул и динамична константа по геоложки данни за определени видове почви. Божинов и Етимов [4] са показали таблици, с помощта на които динамичната почвена константа може да бъде приблизително уточнена. В таблицата се коментира разликата между статични и кратковременни или динамични въздействия особено при свързаните почви. За конкретните видове несвързани почви  $C_{z,stat} = 30 \div 50$  MPa/m  $C_{z,dyn} = 100 \div 120$  MPa/m. Това не е далече и от позната в световната литература диаграма за определяне на динамичен модул спрямо изпитвания за статичен (Фиг. 5). Важно е да се отбележи, че при много меките почви разликата между статично и динамично реагиране е голяма, а при по-здравите преминава постепенно до 0.



Фиг. 5 – Зависимост на отношението между статичен и динамичен деформационен модул от нарастването на статичния [5].

При интензивно уплътняване (вибрация) почвата би могла да достигне еластично поведение, т.е. да реагира със своя еластичен модул  $E_0 = 131$  MPa (по геоложки данни). Макар това да не се очаква в конкретния случай, съгласно направените изследвания, такова явление би благоприятствало намаляването на амплитудата на трептене.

## 5. Динамично слягане

С оглед на оразмеряване на обслужващата конструкция е наложително определяне не само на слягане от постоянни товари, а и от динамични. В БДС (БДС EN), СНиП и DIN (DIN EN) липсват препоръки за изчисляване на динамичното

слягане. В повечето литературни източници се посочва, че амплитуди по-малки от 0.2 mm не са опасни за околните конструкции, но само по отношение на динамично въздействие. Слягането от динамичното въздействие на един фундамент причинява деформация на земната основа за друг. В този случай то трябва да бъде отчетено и изчислено. Единствено в американските норми [6] фигурира процедура за отчитане на динамично слягане. Както и при други автори основен критерий е критично ускорение, над което ще се осъществява динамично слягане най-често при малкоплътни почви. Засегнати от слягане могат да бъдат несвързани почви с относителна плътност по-малка от 75%. Критичното ускорение при тях зависи от относителната плътност и влажността на почвата.

За конкретното изчисление е взета най-неблагоприятната стойност на коефициента  $\beta = 0.88$  при влажност на почвата около 18% и начална относителна плътност  $D_{r0} = 60\%$ .

$$D_{rf} = 100 - 100 \cdot e^{(-\beta(a_{cr} + a_{i2}))}, \quad \Delta D_r = D_{rf} - D_{r0};$$

$$\Delta H = 0.0025 \cdot 5.947 \cdot \left( \frac{\Delta D_r}{100} \right) \cdot \gamma_{d0} \cdot H_1,$$

където:

$D_{rf}$  е относителна плътност след уплътняване в %,

$\gamma_{d0}$  – начално обемно тегло на почвата в  $\text{kN/m}^3$ ,

$\Delta H$  – слягане в m,

$H_1$  – зона за която се изчислява слягането, приета 5 m,

а критичното ускорение  $a_{cr}$  и ускорението в контактната зона под фундамента –  $a_0$  се смятат по следните формули, като за зона не надвишаваща еквивалентния радиус на фундамента  $a_0 = a_i$  в  $\text{g [m/s}^2\text{]}$ :

$$a_{cr} = -\frac{\ln\left(1 - \frac{1}{100} D_{r0}\right)}{\beta}; \quad a_0 = 0.1020408163 \omega^2 A_{\max}.$$

При тези обстоятелства ускорението в пет метрова зона под фундамента не надвишава критичното, следователно по този стандарт няма да се осъществи значимо динамично слягане. Дори при пренебрегване на това условие и провеждане на изчисленията с получените ускорения, слягането остава незначително – 1,4 cm.

## 6. Заключение

При проектирането на конструкции въздействащи динамично върху земната основа, е препоръчително да се проведат лабораторни и *in situ* динамични изпитвания. Целта е определяне на деформационното поведение на замната основа при динамични въздействия и в частност динамичните модули на земната основа. Успоредно с това се използват и преводни формули, които са налице в някои стандарти и в специализираната литература. Съществуват и коефициенти за връзка между статични и динамични почвени параметри, но поради нелинейността на връзките следва внимателно да се използват.

В случая на системата за производство на олово, почвата се оказва достатъчно здрава, за да поеме както статичното, така и динамичното натоварване. Амплитудите

на трептене ще са в рамките на на 0.2 mm, без опасност за обслужващата конструкция, а с оглед на американския стандарт няма да се осъществи значимо динамично слягане. Не е необходимо да се предприемат специални мероприятия за подобряването на земната основа. Препоръчително е да се заложи мониторингова система за наблюдение на динамиката и слягането, за да се получи обратна връзка и да се намалят разходите при бъдещото изграждане на подобни конструкции.

Постъпила: януари 2013

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Viering G. Vibrational Behaviour of Soil in Relation to its Properties. Proceeding of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Volume I – Divisions 1-3A, Paris, July 1961.
- [2] Kramer S.. Geotechnical Earthquake Engineering. USA, 1996.
- [3] Kopf F., D. Adam, I. Paulmichl. Untersuchungen des dynamischen Lastplattenversuches mit dem leichten Fallgewichtsgerät unter Verwendung der Randlelementmethode. Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift , 150 (2005), 4-5; S. 116 - 125.
- [4] Божинов Б., Т. Етимов..Изчисляване на конструкции върху еластична основа. Издателство „Техника”, София 1982.
- [5] Müller F.P. Betonkalender. 1986.
- [6] Soil Dynamics and Special Design. Department of Defense Handbook. MIL-HDBK-1007/3, USA 1997.

### DETERMINING THE DYNAMIC MODULUS AND DYNAMIC SETTLEMENT FOR THE “NEW LEAD PROCESSING” FOUNDATION –KCM PLOVDIV

**N. Kerenchev<sup>2</sup>**

*Keywords: dynamic modulus, dynamic settlement*

*Research area: soil dynamics*

#### ABSTRACT

An introduction of some problems coming with the foundation design of new installation for lead manufacturing is presented. As such a process acts dynamically on the ground, determining the dynamic soil properties and the dynamic settlement based only on static data is essentially important for the foundation design. The dynamic settlement is not considered in the utilized codes– BDS, SNiP, DIN. The relations between dynamic modulus and dynamic settlement in this case are not linear and at that time not clarified enough. They depend on the specific soil properties as well as on the parameter of the foundation itself.

---

<sup>2</sup> Nikolay Kerenchev, Assistant, Ing., “Dept. of Geotechnics”, UACEG, Boul. Chr. Smirnenski 1, 1046 Sofia, kerenchev@hotmail.com