

АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИНАМИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СТРОИТЕЛНИ МАШИНИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕТО ИМ С РАБОТНАТА СРЕДА

Галина Петкова
gpetkova@vtu.bg

**ВТУ "Тодор Каблешков" София, ул. „Гео Милев" 158
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** Строителни машини, статични и честотни методи, насипни материали, динамични въздействия,*

***Резюме:** В строителните и железопътно-строителните процеси голямо приложение намират процесите рязане, разкъртване, уплътняване на свързани или несвързани почви и насипни материали. Това са динамични въздействия, които чрез редица параметри, осъществяват работния процес на строителните машини. Различни съществуващи статични и честотни методи са проучени, за да бъдат преценени приложимостта им към свойствата на насипните материали.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В строителните и железопътно-строителните процеси голямо приложение намират процесите рязане, разкъртване, уплътняване на работната среда - свързани или несвързани почви и насипни материали. Това са динамични въздействия, които чрез редица параметри – честота, амплитуда, натиск, сила, скорост на придвижване на работното съоръжение, от една страна и зърнометричен състав, влажност, свързаност, форма на частиците от друга, осъществяват работния процес на строителните машини. Тези динамични процеси силно се влияят от динамичните характеристики – еластичност (възстановяемост) и десипативност (вискозност) на почвите и насипните материали.

Числени значения на горните характеристики се дават от коефициенти на еластичност, N/m и десипативност, Ns/m , които участват във формирането на диференциалните уравнения за движение на работните съоръжения на строителните машини при взаимодействието им с работната среда.

Съществуват различни статични и честотни методи [1], които са проучени в настоящия материал, за да бъдат преценени приложимостта им към изучаване и определяне на динамичните свойства на почвите и насипните материали.

2. ЛАБОРАТОРНИ СТАНДАРТИЗИРАНИ МЕТОДИ

2.1. Метод на динамично триосно натоварване [2]

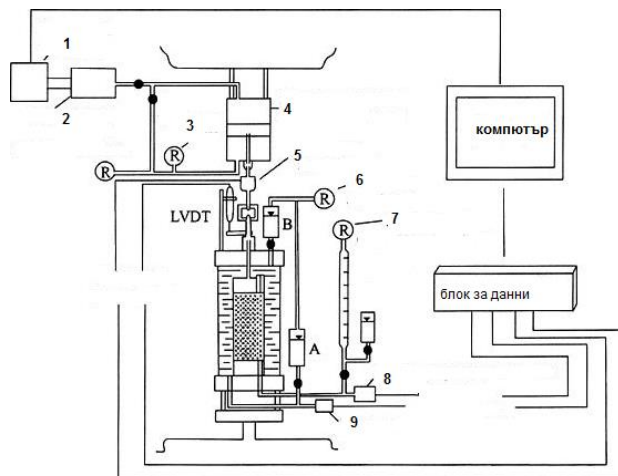
Изпитването дава възможност за определяне на: загубата на якост на насипните материали и несвързаните почви в условията на динамично натоварване; допълнителните деформации на насипните материали и несвързаните почви при

динамично въздействие; динамичното „втечняване“ на водонаситени дисперсни материали в резултат от разрушаването на структурните връзки.

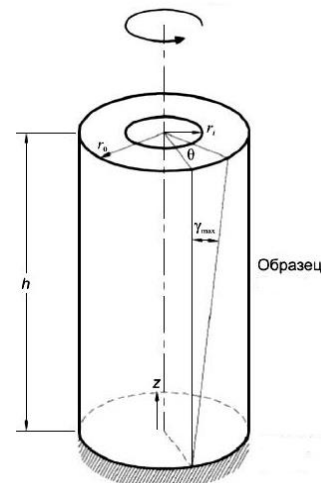
Горните цели се постигат, чрез изпитване на образци от материала в еластична камера за триосно натоварване, даваща възможност за странично разширяване на образеца в условията на осовосиметрично триосно статично натоварване при $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ (ефективни стойности на нормалните напрежения), с едновременно допълнително вертикално динамично натоварване.

За изпитванията се използват образци от насипни материали, които са консолидирани, с естествена влажност или образци със зададена степен на уплътняване и степен на влажност. Образците са с форма на цилиндър с диаметър не по-малък от 50 милиметра и с отношение на височината към диаметъра от 2:1 до 2,5:1.

На фиг.1 е показана принципната схема на стенд за провеждане на изпитване по метод на динамично триосно натоварване, състоящ се от следните основни елементи: 1- честотен генератор; 2- електропневматичен преобразувател; 3- регулатор на противоналягане; 4- двойнодействащ пневмоцилиндър; 5- датчик за осово натоварване; 6- регулатор на налягането в камерата; 7- регулатор на обратното налягане; 8- датчик за налягане в порите; 8- датчик за налягането в камерата.



Фиг.1 Стенд за провеждане на изпитване по метод на динамично триосно натоварване



Фиг.2. Резонансна колона

2.2. Метод на динамично изпитване с малки амплитуди в резонансна колона [2]

Изпитването дава възможност за определяне на коефициента на демпфериране, динамичния модул на линейна деформация и скоростта за разпространяване на напречни вълни в несвързани материали (дисперсни системи) при малки относителни деформационни премествания ($10^{-6}\%$ до $10^{-4}\%$).

Горните характеристики се определят от резултатите от изпитването на образци на насипни материали в резонансни колони – камери за триосно натоварване, даващи възможност за странично разширяване на образеца, в условията на осовосиметрично триосно статично натоварване при $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ с едновременно възбуждане в образеца на усукващи колебания със зададена честота. (фиг.2)

Динамичните изпитвания на дисперсните материали по този метод се провеждат само върху консолидирани и недренирани образци.

Камерата за триосно натоварване е същата като при гореописания метод.

Резонансната колона се оборудва с електромагнитна или електромеханична система, създаваща усукващи колебания, с устройство за измерване на малките ъглови измествания (препоръчва се използването на акселерометри)

Коефициентът на демпфериране се определя, чрез анализиране на закона за движение на свободните колебания, следващи динамичното натоварване. Амплитудата на свободните колебания затихва във времето и логаритмичния декремент на това затихване се определя от:

$$(1) \quad \delta = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{A_1}{A_{n+1}} \right)$$

където A_1 и A_{n+1} са съответно амплитудите на 1 и $n+1$ цикъл на колебанията.

Относителния коефициент на демпфериране се определя от:

$$(2) \quad D = \frac{\delta^2}{4\pi^2 + \delta^2} \cdot 100, \%$$

2.3. Метод на усукващата деформация [2]

Изпитването дава възможност да се определят понижаването на динамичния модул на линейна деформация и повишаването на коефициента на демпфериране при увеличаването на деформациите с 0,1% до 1 %.

Изпитванията се провеждат в резонансни колони имащи възможност за създаване на значителни въртящи моменти и измерване на съответстващите им деформации. Принципът на изпитване е аналогичен на метода с резонансна колона, тъй като образецът се подлага на усукващи колебания с нарастващи усилия.

Опитната уредба е аналогична на тази от метода с резонансна колона, но с възможност за измерване на относителни деформации до 1% и възможност за възбуждане на усукващи колебания с ниски честоти (под 1 Hz).

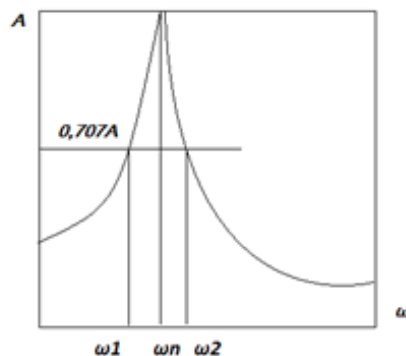
3.ЛАБОРАТОРНИ НЕСТАНДАРТИЗИРАНИ МЕТОДИ

3.1. Честотен метод [3]- описание

Коефициентът на еластичност се определя като за няколко различни стойности на натоварване се измерва статичната деформация на материала. Чрез линейна регресия се построява права, чиито наклон определя коефициента на еластичност k .

$$(3) \quad k = \arctg \alpha, \text{ където } \alpha \text{ е ъгълът на наклона.}$$

Важно при този метод е площта на образца, върху която се упражнява натоварването да съответства на размерите на уплътнителните или режещите инструменти на строителните машини, чрез които те си взаимодействат с материала.



Фиг.3. Амплитудно- честотна характеристика – АЧХ

Коефициентът ϵ на демпфериране се определя като се използват елементи от модалния анализ. Образецът е обем с определена маса насипен материал m_s и с площ на напречното сечение равно на площта, при която е определен коефициента на еластичност k . Същността на метода се състои в снемането на амплитудно- честотната характеристика (АЧХ) на образца и обработване на данни получени от самата

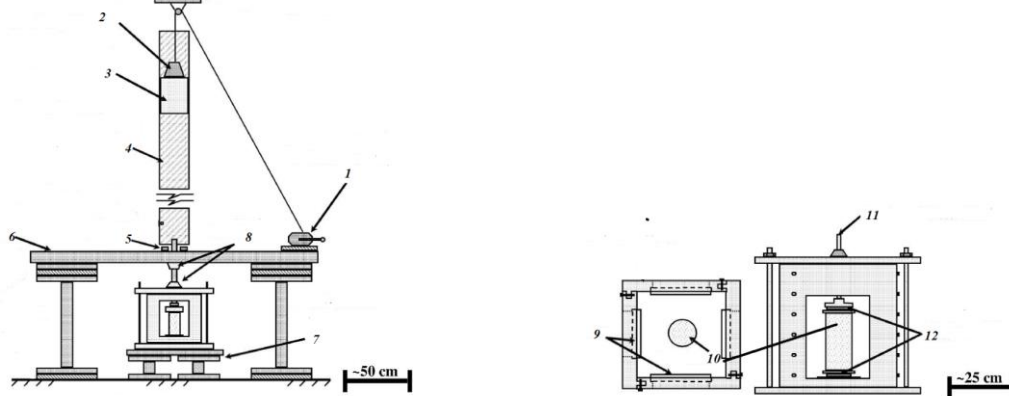
характеристика. За целта върху образеца се прилага еднократно ударно натоварване, което да му придаде еднопосочно колебателно движение. С помощта на акселерометър, съответна електронна апаратура и математическа обработка на сигнала от датчика се получава АЧХ - фиг.3.

С данните от АЧХ се определя относителния коефициент на демпфериране ζ :

$\zeta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_n}$, чрез него по формула (4), изведена от теорията на динамиката на тела

с една степен на свобода се определя коефициента c на демпфериране:

$$(4) \quad c = 2\zeta \sqrt{km_s}, \quad \frac{Ns}{m}$$



Фиг.4. Принципно схемата на стенд за ударно натоварване:

1- ръчно задвижван барабан и полиспаг за повдигане на тежестта (лебедка);
 2- електромагнитен държач на тежестта; 3- тежест; 4- водеща колона (алуминиева или PVC тръба); 5- дървен пръстен, абсорбиращ ударната енергия; 6- реактивна рамка; 7- реактивна рамка на изпитвания образец; 8- керамични направляващи; 9- прозорци от плексиглас; 10- изпитван образец; 11- бутален прът; 12- датчици (преобразуватели– акселерометри 12а, силомери 12б)

Опитната установка, показана на фиг.4, дава възможност за ударно натоварване на образеца 10, чрез рязко спускане на тежестта 3 върху буталния прът 11.

3.2. Деформационен метод [4,5,6] - описание

Изпитването дава възможност да се определи коефициента на демпфериране на насипни материали като се прилага уравнението на Смит [7], описващо поведението на насипните материали при статично и динамично въздействие.

$$(5) \quad R = kx + cv$$

където R е реакцията на материала при динамично натоварване, k и c са съответно коефициент на еластичност и демпфериране на насипния материал, x и v са съответно деформацията и скоростта на деформиране на насипния материал. За да отрази влиянието на формата на размерите на насипния материал Смит предлага следния израз за демпфериращия коефициент:

$$(6) \quad c = kxJ$$

където J е коефициент зависещ от вискозното триене в материала и може да бъде изчислен от:

$$(7) \quad J = \frac{1}{v} \left(\frac{Ps}{Pd} - 1 \right)$$

където Ps и Pd са съответно големините на статичното и динамичното въздействие.

Изпитването се провежда като върху изпитвания образец се прилага ударно натоварване и се измерва деформацията и нейната скорост v . Чрез уравнения 6 и 7 се изчислява стойността на коефициента на демпфериране c .

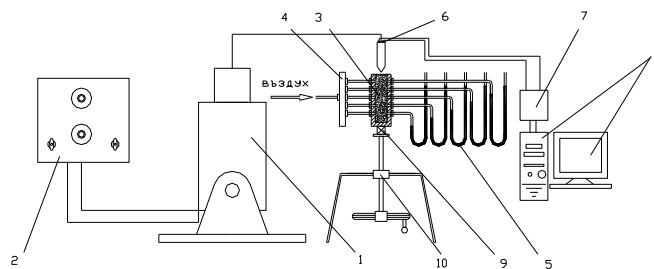
Опитната установка е аналогична на тази показана на фиг. 4, като се предвиждат преобразуватели за измерване на сила (поз.12).

3.3. Метод на пневматичната проводимост на насипни материали [8] - описание

Взаимодействието на работното съоръжение с насипния материал при виброуплътняване може да се проследи при разглеждане на праволинейното движение на работната площадка, при положение, че направлението на колебанията съвпада с направлението на скоростта на подаване на инструмента и тази скорост е постоянна. Стендът (фиг.5) се състои от електромагнитен вибратор 1, блок за управление и безстепенно изменение на честота и амплитуда 2, епруветка с насипен материал 3, измерваща и регистрираща апаратура 6, система за определяне на пневматичната проводимост на насипни материали 4, включваща източник на въздух под налягане и комплекс от диференциални течностни манометри 5, аналогово-цифров преобразувател 7, компютър 8, измерител на сила 9 и винтов подежник 10.

Така разработеният стенд дава възможности за:

- задаване на широка гама от честоти и амплитуди, чрез които се получава определена степен на уплътняване;
- количествено измерване на текущите стойности на честотата и амплитудата, възможност за преобразуване на тези стойности и въвеждането и обработването им от компютър с подходяща програма;
- промяна на зърнометричния състав на насипния материал, някои негови физико-механични характеристики като влажност, форма на частиците и др.;
- качествено определяне на степента на уплътнение в насипния материал, по височина на епруветката, посредством метода на пневматична проводимост на дисперсни системи, като се отчита пада на налягане във всеки един слой на изпитвания материал.
- в зависимост от параметрите на вибриране и вида на насипния материал могат и да се определят силите, необходими на индентора да проникне на определена дълбочина в насипен материал, както и качествено да се определи степента на уплътняване при това проникване



Фиг.5. Стенд за определяне на проникваща способност в насипни материали по метода на пневматичната проводимост:

4. ПОЛЕВИ СТАНДАРТИЗИРАНИ МЕТОДИ

Полевите стандартизирани методи биват сеизмоакустични, геотехнически и вибрационни. Предназначени са за установяване на динамичните свойства на почвите за целите на строителството и фундирането.

Изброените методи се реализират с мобилни лабораторни установки, работещи на терен, изследващи състоянието на почвите за нуждите на конкретно строително мероприятие.

5.ИЗВОДИ

Полевите стандартизирани методи не изследват тези динамични характеристики на почвите и насипните материали, които имат значение при взаимодействието им с строителната техника – именно коефициентите на еластичност и демпфериране;

Лабораторните стандартизирани методи дават възможност в лабораторни условия, да се определят редица динамични свойства на почвите и насипните материали. Най- подходящ от тази група е Методът на динамично изпитване с малки амплитуди в резонансна колона, който единствен дава възможност за определяне и на коефициента на демпфериране, чрез определяне на логаритмичния декремент на затихване на свободните колебания.

Лабораторните нестандартизирани методи за определяне на динамичните характеристики на насипни материали дават възможност да се определят коефициентите на еластичност (твърдост) и коефициентите на демпфериране на почви и насипни материали. Опитната установка за ударно натоварване е със сравнително проста конструкция.

Гореспоменатите съображения дават основание да бъдат определени като подходящи Лабораторните нестандартизирани методи – честотен и деформационен като база за разработване на методика за провеждане на експерименти, за определяне на коефициентите на демпфериране и еластичност на почвите и насипните материали.

Представеният анализ е част от Научно- изследователски проект по Договор № 146 / 12.04.2018 г. с възложител ВТУ „Т. Каблешков“.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Marshall L. Silver. Load, Deformation and Strength Behavior of Soils under Dynamic Loadings, First International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering & Soil Dynamics 1981

[2] ГОСТ Р 56353-2015. Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов

[3] Jens Borg, Andres Engstrom. Dynamic behaviour of a soil compaction tamping machine, Master's degree thesis, Umeå University of Karlskrona, Sweden, 1997

[4] Jerry A. Yamamuro, Antonio E. Abrantes, Poul V. Lade. Effect of Strain Rate on the Stress-Strain Behavior of Sand, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, December 2011

[5] D. Hampton, E. J. Yoder. The Effect of Rate of Strain on Soil Strength, Joint Highway Research Project Purdue University, [https:// docs.lib.purdue.edu /cgi/viewcontent.cgi? referer= https: //www.google.bg/ & httpsredir=1&article=2762&context=roadschool](https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.bg/&httpsredir=1&article=2762&context=roadschool)

[6] Harry M. Coyle, Gary C. Gibson Z. Empirical damping constants for sands and clays, Journal of the SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS DIVISION, <https://vulcanhammer.info/>

[7] Smith, E. A. L.. Pile Driving Analysis by the Wave Equation, Transactions. ASCE. Val. 127, Proc. Paper 3306, Part I. 1962.

[8] Борис Петков, Емил Йончев. Стенд за определяне на степента на уплътняване на насипни материали по метода на пневматичната проводимост, XIV Научна Конференция с Международно Участие „ТРАНСПОРТ 2004“, стр. 481-485, ISBN 954 12-0104-0x

ANALYSIS OF TEST METHODS FOR DETERMINATING DYNAMIC CHARACTERISTICS OF CONSTRUCTION MACHINES IN REACTION WJKSOILS AND BULK MATERIALS

Galina Petkova
gpetkova@vtu.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str
BULGARIA*

***Key words:** Construction machines, bulk materials, railway, construction machinery, dynamic effects, static and frequency methods*

***Abstract:** In the construction and rail-building processes a great application finds the processes of cutting, breaking, compacting of soils and bulk materials. These are dynamic effects, which through a number of parameters - frequency, amplitude, pressure, force, speed of movement of the work equipment, on the one hand and grain size, humidity, connectivity, particle shape on the other, perform the working process of the construction machines. These dynamic processes are strongly influenced by the dynamic characteristics (elasticity and desipation) of soils and bulk materials.*

The above dynamic characteristics are described, respectively, by coefficients of elasticity and damping (respectively the magnitude of deformations and the rate of deformation of soils and bulk materials), by which the potential and dissipative energies in the dynamic modeling of the construction work equipment are calculated.

There are different static and frequency methods based on modal analysis of systems with a single degree of freedom that have been studied to assess their applicability to bulk material properties and project capabilities.

Field standardized methods do not investigate these dynamic characteristics of soils and bulk materials that matter when interacting with construction equipment - namely the coefficients of elasticity and damping;

Laboratory standardized methods make it possible, in laboratory conditions, to determine a number of dynamic properties of soils and bulk materials. The most appropriate of this group is the dynamic amplitude test method in a resonant column, which only enables the determination of the damping factor by determining the logarithmic free-oscillation decay. The method requires a relatively complex dynamic load system, creating twisting fluctuations in the resonant column, which implies high cost.

Laboratory non-standardized methods for determining the dynamic characteristics of bulk materials make it possible to determine the coefficients of elasticity (hardness) and the soil and bulk soil damping factors. The test facility for impact loads has a relatively simple construction.