

УДК 666.97.033.16

## СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВУХЧАСТОТНЫХ ВИБРОПЛОЩАДОК С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

*Иткин А.Ф., к.т.н., Маслов А.Г., д.т.н., проф.*

*Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского  
39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20  
E-mail: [kmt@polytech.poltava.ua](mailto:kmt@polytech.poltava.ua)*

Висловлені результати теоретичних і експериментальних досліджень двохчастотних вібраційних площадок з просторовими коливаннями, які призначені для формування бетонних виробів.

**Ключові слова:** вібраційна площадка, експериментальні дослідження, бетонна суміш.

Results of theoretical and experimental researches of twofrequency vibration grounds with the spatial vibrations which is intended for shaping concrete wares are led.

**Key words:** vibration ground, experimental researches, concrete mixture.

**Введение.** Вибрационные машины для формования бетонных и железобетонных изделий, совершающие пространственные двухчастотные колебания являются сложными техническими системами. Рациональное использование этих вибрационных машин в практике строительного производства зависит от таких показателей как: работоспособность, под которой понимается способность объекта выполнять заданные функции в течение определенного технической документацией времени; устойчивость движения динамической системы; эффективность формования бетонных и железобетонных изделий из жестких цементобетонных смесей, обеспечивающей высокое качество формируемых изделий при достаточно высокой производительности и минимальной затрате энергии; безопасность работы.

**Анализ предыдущих исследований.** В работе [1] приведены теоретические зависимости, которые позволяют определить основные параметры двухчастотных вибрационных площадок с пространственными колебаниями и обосновать их рациональные режимы вибрационного воздействия на уплотняемую среду.

**Цель работы** – уточнение основных параметров виброплощадок с двухчастотными пространственными колебаниями.

**Материал и результаты исследований.** Для проведения экспериментальных исследований использовалась двухчастотная вибрационная площадка (рис. 1) с пространственными (продольно – вертикальными) колебаниями, оснащенная высокочастотным и низкочастотным вибровозбудителями колебаний, которые установлены на противоположных торцах подвижной рамы виброплощадки. Основная техническая характеристика экспериментальной виброплощадки: масса подвижной рамы вместе с формой без бетонной смеси 103,5 кг; амплитуда низкочастотной возмущающей силы  $Q_1=1800$  Н; ам-

плитуда высокочастотной возмущающей силы и  $Q_2=1400$  Н; жесткость упругих опор в горизонтальном направлении 240 кН/м; жесткость упругих опор в вертикальном направлении 960 кН/м; угол наклона амортизирующей части упругих опор  $\beta=30^\circ$ . Для регулирования частоты колебаний низкочастотного и высокочастотного вибровозбудителей колебаний использовались преобразователи частоты CDI 9000 – 0R75T4 мощностью 0,75 кВт. На основании проведенных теоретических исследований процесса уплотнения цементобетонных смесей на вибрационной площадке с двухчастотными пространственными колебаниями [1], установившими наиболее рациональный режим вибрационного воздействия на цементобетонную смесь, было принято использовать на экспериментальной виброплощадке высокочастотный вибровозбудитель колебаний с угловой частотой  $\omega_2=292$  рад/с и низкочастотный вибровозбудитель колебаний с последовательно устанавливаемой угловой частотой  $\omega_1=0,7\omega_2=204$  рад/с и  $\omega_1=0,6\omega_2=175$  рад/с.



Рисунок 1 – Экспериментальная виброплощадка с пространственными колебаниями

Также экспериментальные исследования проводились при пониженной угловой частоте высокочастотного вибровозбудителя колебаний равной

$\omega_2=272$  рад/с и последовательно устанавливаемой угловой частоте низкочастотного вибровозбудителя колебаний  $\omega_1=0,7\omega_2=190$  рад/с и  $\omega_1=0,6\omega_2=163$  рад/с. В процессе экспериментальных исследований формировались бетонные блоки с размерами  $120 \times 20 \times 20$  см массой 115 кг.

При экспериментальных исследованиях использовались цементобетонные смеси с водоцементным отношением 0,4 – 0,48 (табл. 1) с осадкой конуса ОК=3,5 – 4 см и жесткостью Ж=30 с, Ж=60 с и Ж=90 с. Консистенция цементобетонной смеси изменялась путем введения в состав различного количества воды (табл. 2).

**Таблица 1– Содержание минеральных компонентов и воды, входящих в цементобетонную смесь (кг на 1 м<sup>3</sup> бетона)**

| № п/п | Наименование компонентов смеси   | Содержание входящих в цементобетонную смесь компонентов, кг/м <sup>3</sup> |                 |
|-------|----------------------------------|--|-----------------|
|       |                                  | В/Ц= 0,4 – 0,48  | В/Ц= 0,57 – 0,7 |
| 1     | Гранитный щебень фракции 5-20 мм | 1200   | 1230            |
| 2     | Песок с $M_{кр} = 1,8 - 2$       | 620  | 710             |
| 3     | Портландцемент М – 400           | 412  | 290             |
| 4     | Вода, л                          | 170 - 200  | 170 - 200       |

**Таблица 2 – Расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси различной консистенции**

| № п/п | Консистенция цементобетонной смеси |                   | Расход воды, л |
|-------|------------------------------------|-------------------|----------------|
|       | Жесткость смеси, с                 | Осадка конуса, см |                |
| 1     | 80 – 90                            |                   | 165            |
| 2     | 50 – 60                            |                   | 175            |
| 3     | 20 – 30                            |                   | 187            |
| 4     |                                    | 3,5 – 4           | 205            |

Во время проведения экспериментальных исследований измерялись амплитуды колебаний в горизонтальном и вертикальном направлениях и напряжения, возникающие в уплотняемой смеси в центральной части формы. Определялась необходимая продолжительность вибрационного воздействия до полного уплотнения, формуемого изделия.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что полученные теоретические зависимости достаточно точно описывают реальный процесс поведения динамической системы двухчастотной виброплощадки с пространственными колебаниями и напряженно-деформированного состояния уплотняемой среды, и позволяют определить рациональные параметры вибрационного воздействия на уп-

лотняемую цементобетонную смесь, определить основные параметры двухчастотной виброплощадки с пространственными колебаниями.

На рис. 2 приведены теоретические и экспериментальные зависимости необходимой продолжительности вибрационного воздействия на уплотняемую цементобетонную смесь двухчастотными пространственными колебаниями в зависимости от консистенции смеси при угловой частоте высокочастотного вибровозбудителя колебаний  $\omega_2=292$  рад/с и угловой частоте низкочастотного вибровозбудителя колебаний  $\omega_1=0,7\omega_2=204$  рад/с и  $\omega_1=0,6\omega_2=175$  рад/с, а на рис. 3 такие же зависимости при пониженной угловой частоте высокочастотного вибровозбудителя колебаний  $\omega_2=272$  рад/с и угловой частоте низкочастотного вибровозбудителя колебаний  $\omega_1=0,7\omega_2=190$  рад/с и  $\omega_1=0,6\omega_2=163$  рад/с.

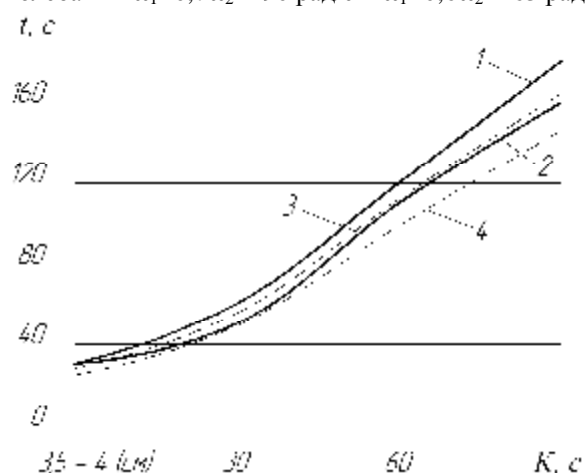


Рисунок 2 – Изменение необходимой продолжительности вибрационного воздействия на уплотняемую цементобетонную смесь двухчастотными пространственными колебаниями в зависимости от ее консистенции:

1, 3 – при одновременном вибрационном воздействии с угловыми частотами  $\omega_2=292$  рад/с и  $\omega_1=0,6\omega_2=175$  рад/с; 2, 4 – при  $\omega_2=292$  рад/с и  $\omega_1=0,7\omega_2=204$  рад/с; 1, 2 – экспериментальные кривые; 3, 4 – теоретические зависимости

Анализ приведенных зависимостей показывает, что экспериментальные значения необходимой продолжительности вибрационного воздействия двухчастотными пространственными (продольно вертикальными) колебаниями на цементобетонную смесь до полного уплотнения формуемого изделия, несколько превышают необходимую продолжительность вибрационного уплотнения, полученную на основании теоретических исследований. При этом максимальные расхождения теоретических и экспериментальных данных необходимой продолжительности уплотнения цементобетонных смесей двухчастотными пространственными колебаниями не превышают 10%, что позволяет рекомендовать полученные теоретические зависимости для практического применения при создании новых видов вибра-

ционных площадок с пространственными (продольно – вертикальными) колебаниями. В частности для определения основных параметров вибрационных площадок, установления рационального режима вибрационного воздействия на уплотняемую среду в зависимости от её физико-механических характеристик, определения основных эксплуатационных показателей.

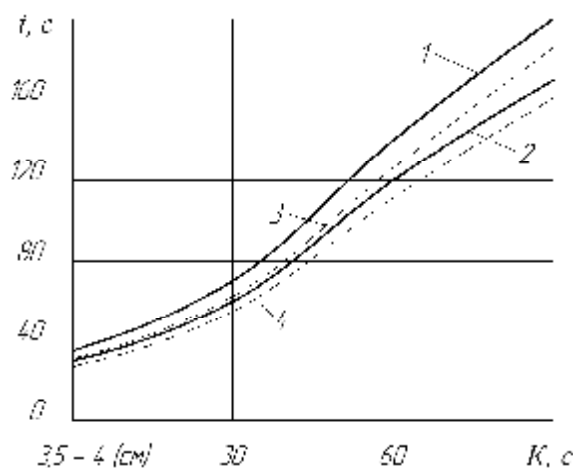


Рисунок 3 – Изменение необходимой продолжительности вибрационного воздействия на уплотняемую цементобетонную смесь двухчастотными пространственными колебаниями в зависимости от ее консистенции:

- 1, 3 – при одновременном вибрационном воздействии с угловыми частотами  $\omega_2=272$  рад/с и  $\omega_1=0,6\omega_2=163$  рад/с; 2, 4 – при  $\omega_2=272$  рад/с и  $\omega_1=0,7\omega_2=190$  рад/с; 1, 2 – экспериментальные кривые; 3, 4 – теоретические зависимости

Из указанного диапазона наиболее рациональным при формировании изделий из жестких бетонных смесей жесткостью до 90 с является использование двухчастотных пространственных колебаний в виде одновременно прикладываемых высокочастотных колебаний с угловой частотой  $\omega_2=292$  рад/с и низкочастотных колебаний с частотой  $\omega_1=\omega_2(0,6 \dots 0,75)$ .

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что при использовании виброплощадок с двухчастотными пространственными колебаниями в виде одновременно прикладываемых высокочастотных колебаний с угловой частотой  $\omega_2=292$  рад/с и низкочастотных колебаний с частотой  $\omega_1=\omega_2(0,6 \dots 0,75)$  обеспечивается формирование изделий из жестких цементобетонных смесей жесткостью до 90 с и требуется в 1,5 – 1,9 раз меньшая продолжительность уплотнения, чем на других виброплощадках. Это позволяет повысить грузоподъемность виброплощадки при одних и тех же вибро-возбудителях высокочастотных и низкочастотных колебаний, устанавливаемых на двухчастотных виброплощадках горизонтального действия, и не менее чем в 1,5 уменьшить энергоемкость процесса уплотнения, а использование жестких цементобетонных смесей позволяет уменьшить расход цемента на 10 –

15% и повысить прочность формируемого изделия. Одновременно снижается продолжительность термовлажностной обработки этих формируемых изделий.

При создании виброплощадок большой грузоподъемности целесообразным является использование двухчастотных пространственных колебаний в виде одновременно прикладываемых высокочастотных колебаний с угловой частотой  $\omega_2=272$  рад/с и низкочастотных колебаний с частотой  $\omega_1=\omega_2(0,65 \dots 0,75)$ .

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований были разработаны вибрационные площадки с двухчастотными пространственными (продольно – вертикальными) колебаниями грузоподъемностью 10, 15 и 20 тонн [2-4]. Эти виброплощадки предназначены для формирования бетонных и железобетонных изделий, в том числе и для формирования многпустотных плит перекрытия. Конструктивная схема двухчастотных виброплощадок с пространственными колебаниями представлена на рис. 4. В составе этих вибрационных площадок используются дебалансные вибро-возбудители круговых колебаний, конструкция и расчет которых приведены в работе [5].

Виброплощадка для уплотнения цементобетонной смеси в форме (рис. 4), состоит из подвижной рамы 1 коробчатого сечения, которая при помощи упругих опор 2 установлена на основании 3. На подвижной раме 1, в ее центральной части, на опорной плите 4 в цилиндрических гнездах 5 установлены при помощи фланцевых опор низкочастотный 6 и высокочастотный 7 дебалансные возбудители горизонтальных колебаний, которые соединены с приводным двигателем 8 при помощи клиноременной передачи 9. При этом каждая упругая опора 2 выполнена в виде нижнего 10 и верхнего 11 оппозитно расположенных Т – образных кронштейнов, у которых перпендикулярные ребра установлены вертикально и к ним при помощи жестких накладок 12 прикреплены с каждой стороны упругие элементы 13.

Перпендикулярные ребра Т – образных кронштейнов и накладки 12 формируют из упругих элементов амортизирующую часть, которая в продольном направлении наклонена к горизонту на угол от  $17^\circ$  до  $35^\circ$ , причем высота амортизирующей части равна 0,25 – 0,4 суммарной толщины упругих элементов. Для закрепления упругих элементов 10 на Т – образных кронштейнах при помощи жестких накладок используются винтовые стяжки 14. Упругие опоры установлены на нижней раме под углом от  $40^\circ$  до  $50^\circ$  к продольному направлению подвижной рамы и симметрично относительно её продольной оси.

Подвижная рама смонтирована на упругих опорах при помощи вертикальных цилиндрических шарниров, выполненных в виде вертикальных штырей 15, жестко закрепленных на верхних Т – образных кронштейнах 11, и втулок 16, жестко закреп-

лених на подвижній раме.

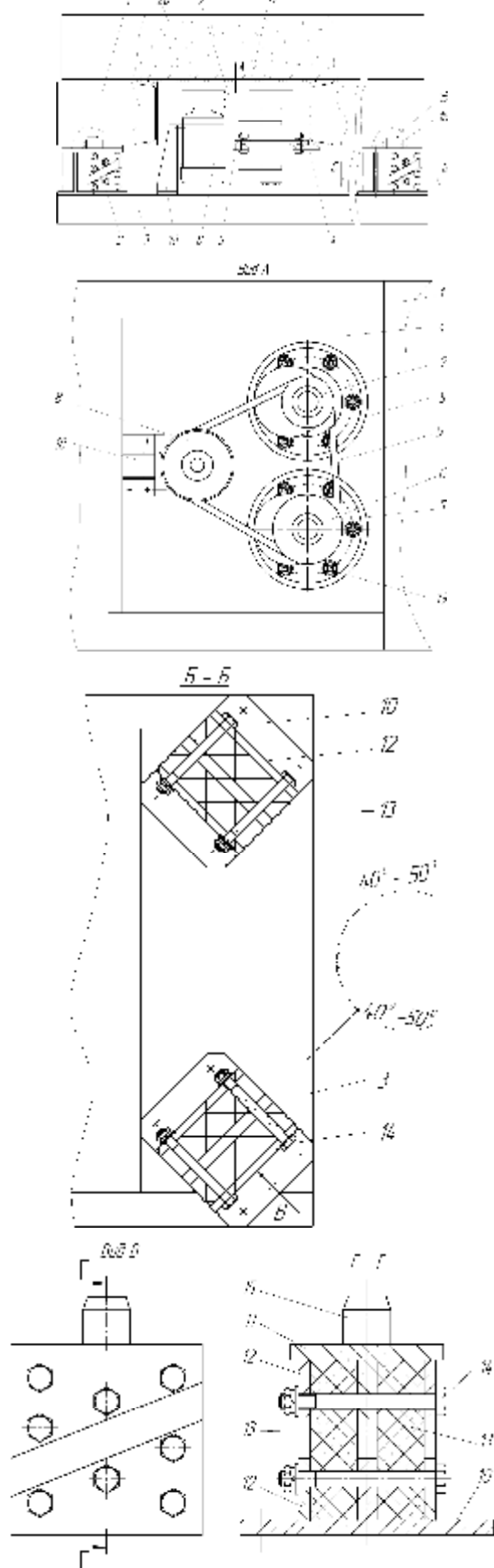


Рисунок 4 – Общий вид виброплощадки с пространственными колебаниями

Центральна частия подвижної рами 1 зверху закрита знімним люком 17, а приводний двигател 8 закріплен на нижній рамі при допомозі консолі 18. Возбудителі кругових коливань 6 і 7 закріплені на опорній плиті 4 при допомозі різьбових соєдиненій 19.

Работает виброплощадка следующим образом.

На подвижную раму 1 устанавливают форму 20, которую после установки арматуры заполняют цементобетонной смесью. Включают приводной двигатель 8, вращающий через клиноременную передачу 9 низкочастотный 6 и высокочастотный 7 дебалансные возбудители круговых колебаний, которые возбуждают в горизонтальной плоскости двухчастотные колебания подвижной рамы 1 вместе с формой 20. Одновременно с движением рамы 1 в горизонтальной плоскости, происходят вертикальные ее колебания, вызываемые наклоном амортизирующей части упругих опор 2 в диапазоне  $17 - 35^{\circ}$ . Установка упругих опор на нижней раме под углом от  $40^{\circ}$  до  $50^{\circ}$  к продольному направлению подвижной рамы и симметрично относительно её продольной оси обеспечивает достаточную устойчивость виброплощадки в поперечном направлении. Крепление подвижной рамы на упругих опорах при помощи вертикальных цилиндрических шарниров обеспечивает удобство монтажа, демонтажа и обслуживания виброплощадки.

В составе вибрационной площадки грузоподъемностью 10 тонн используются высокочастотный вибровозбудитель круговых колебаний В1-292-1 ( $\omega_2=292$  рад/с,  $Q_2=82,9$  кН) и низкочастотный вибровозбудитель круговых колебаний В2-190 ( $\omega_1=190$  рад/с,  $Q_1=98,2$  кН).

На вибрационной площадке грузоподъемностью 15 тонн установлены высокочастотный вибровозбудитель круговых колебаний В1-292-2 ( $\omega_2=292$  рад/с,  $Q_2=100,2$  кН) и низкочастотный вибровозбудитель круговых колебаний В2-204 ( $\omega_1=204$  рад/с,  $Q_1=134$  кН).

При формировании густоармированных железобетонных изделий, таких как предварительно напряжённые многопустотные панели перекрытия, целесообразно прикладывать вибрационные нагрузки с увеличенной амплитудой высокочастотной составляющей двухчастотных пространственных колебаний. Поэтому на виброплощадках грузоподъемностью 15 тонн, предназначенных для формирования многопустотных панелей перекрытия, были установлены высокочастотный вибровозбудитель колебаний В1-292-3 ( $\omega_2=292$  рад/с,  $Q_2=119,7$  кН) и низкочастотный вибровозбудитель круговых колебаний В2-204 ( $\omega_1=204$  рад/с,  $Q_1=134$  кН).

В составе вибрационной площадки грузоподъемностью 20 тонн используются высокочастотный вибровозбудитель круговых колебаний В1-272-4 ( $\omega_2=272$  рад/с,  $Q_2=140,5$  кН) и низкочастотный вибровозбудитель круговых колебаний В2-175 ( $\omega_1=175$  рад/с,  $Q_1=142,3$  кН).

Все эти виброплощадки предназначены для формирования изделий, как из пластичных, так и жестких цементобетонных смесей жесткостью до 90 с.

На рис. 5 показана установка высокочастотного и низкочастотного вибровозбудителей колебаний на опорной плите подвижной рамы двухчастотной виброплощадки с пространственными колебаниями.

С целью снижения себестоимости изготовления вибрационных площадок с пространственными колебаниями за счет исключения из конструкции вибровозбудителей колебаний дорогостоящих радиальных сферических роликоподшипников были разработаны ротационные вибровозбудители колебаний [4], конструкция и техническая характеристика которых приведена в [6]. На рис. 6 показаны высокочастотный и низкочастотный ротационные вибровозбудители колебаний.

Таким образом, в результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований были созданы и внедрены в производство эффективные, простые по конструкции и малоэнергоёмкие виброплощадки грузоподъёмностью 10, 15 и 20 тонн.



Рисунок 5 – Установка высокочастотного и низкочастотного дебалансных вибровозбудителей круговых колебаний на опорной плите подвижной рамы двухчастотной виброплощадки с пространственными колебаниями грузоподъёмностью 15 тонн



Рисунок 6 – Высокочастотный и низкочастотный ротационные вибровозбудители круговых колебаний

**Выводы.** В результате проведенных экспериментальных исследований уточнена теория вибрационного уплотнения и определена необходимая продолжительность вибрационного воздействия в зависимости от консистенции цементобетонной смеси и основных параметров двухчастотных вибрационных площадок с пространственными колебаниями. Созданы эффективные, простые по конструкции и малоэнергоёмкие виброплощадки грузоподъёмностью 10, 15 и 20 тонн, предназначенные для формирования бетонных и железобетонных изделий из жестких цементобетонных смесей

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов А.Г., Иткин А.Ф. Исследование режима работы виброплощадки с пространственными колебаниями. // Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал, № 1 (43), 2006. – С.76-78.
2. Іткін. О.Ф., Маслов О.Г. Вібраційна площадка для ущільнення цементобетонної суміші у формі. Деклараційний патент на корисну модель № 12116, Бюл. №1, 2006.
3. Іткін. О.Ф., Маслов О.Г. Вібраційна площадка для ущільнення цементобетонної суміші у формі. Деклараційний патент на корисну модель № 12117, Бюл. №1, 2006.
4. Іткін. О.Ф., Маслов О.Г. Планетарний вібробудувач. Деклараційний патент на корисну модель № 14706, Бюл. № 5, 2006.
5. Иткин А.Ф. , Маслов А.Г. Определение рациональных параметров вибрационных возбудителей колебаний для виброплощадок с двухчастотными колебаниями. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, вип. 5/2007 (46). Частина 1. – Кременчук, 2007. – С. 34-36.
6. Иткин А.Ф. , Маслов А.Г. Определение рациональных параметров и разработка планетарного вибровозбудителя колебаний. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, вип. 6/2007 (47). Частина 1. – Кременчук, 2007. – С. 67- 71.

Стаття надійшла 11.04.2008 р.