

ГЛУБИННОЕ ВИБРОУПЛОТНЕНИЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ С ПРУЖИННЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ КОЛЕБАНИЙ

Абдукаликова Г.М., ст. преп.

ЕНУ им. Л.Н. Гумилева.

Толеубаева Ш.Б., докторант,

Сулеймбекова З.А., докторант

Карагандинский технический университет

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Уплотнение бетонных смесей является важнейшей стадией строительного производства и оказывает еще большее влияние на свойства бетона, чем перемешивание [26; 63; 89]. Недоуплотнение или неравномерное уплотнение приводит к резкому уменьшению прочности бетона, ухудшает его долговечность и другие свойства. Из различных способов уплотнения бетонных смесей наибольшее распространение получило вибрирование, которое в монолитных конструкциях реализуется с помощью глубинных вибраторов [1; 2].

Для глубинного уплотнения бетонных смесей используется достаточно большое количество разнообразных по конструкции устройств, однако по принципу действия среди них преобладают вибрационные, а по техническому исполнению — уплотнители с рабочим оборудованием типа «булава» с приводом посредством гибко-20 вала или со встроенным в корпус излучателя колебаний электродвигателя. Действие виброколебаний на уплотняемую смесь в этих аппаратах осуществляется в горизонтальной плоскости, а основная модернизация виброизлучателей касается преимущественно их формы и вида поверхности (лопастные, разрезные, оребренные и другие вибронаконечники). Последнее обстоятельство продиктовано необходимостью увеличения излучающей поверхности для передачи большего количества энергии в уплотняемую среду [3; 4]

Имеющиеся научно-технологические наработки [5], основанные на исследовании влияния вибрирования на реологические характеристики, кинетику твердения и набор прочности цементного камня, показывают, что создание интенсивных вибрационных колебаний в уплотняемой бетонной смеси приводит не только к повышению плотности, но и увеличивает прочность бетона в 1,2...1,3 и более раза. Это представляется чрезвычайно важным обстоятельством в понимании выбора важнейших направлений повышения качества конгломератных

материалов на основе вяжущих веществ. Возможен перенос части работы активации в эту стадию технологического процесса, что является пионерным решением в общей технологии бетона. Убедительным доводом в пользу сказанного служит тот факт, что значительная часть вяжущих веществ в бетонных изделиях выполняет функции мелкого заполнителя [6,7].

Идеология создания нового вида оборудования для совмещения процессов глубинного уплотнения и механоактивации бетонной смеси сводится к приданию рабочему органу двух функций — вибро-24 виброизлучателя и механоактиватора. В качестве такого устройства может быть использована цилиндрическая пружина, витки которой совершают растягивающе-сжимающие перемещения вдоль своей оси. Приводной механизм пружинного излучателя колебаний основан на растяжении или сжатии витков пружины, что определяет его устройство и принцип действия в составе конкретного агрегата [8,9,10].

Принцип действия пружинного излучателя колебаний приведен на рис. 1, а характер излучения колебаний для варианта его расположения в реальных условиях уплотнения и управления оператором — на рис. 2.

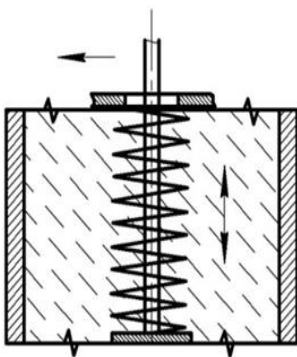


Рисунок 1. Принцип действия пружинного виброизлучателя колебаний

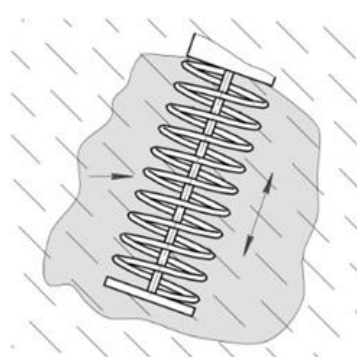


Рисунок 2. Характер излучения колебаний

В самом простом исполнении (см. рис. 3) виброуплотнитель содержит смонтированный на приводном валу кривошип 1, который с помощью шатуна 3, установленного в шарнире 2, соединен посредством поперечины 5 со свободным концом пружинного виброуплотнителя, состоящего из сопряженных между собой пружин 6, 7. Второй конец

пружинного рабочего органа упирается в стойку 4, а шатун 3 свободно проходит через зону взаимного перекрытия, образованную пружинами 6, 7.

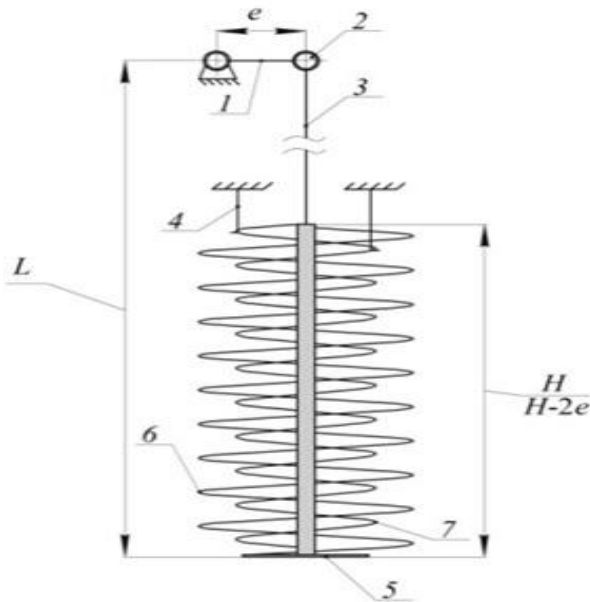


Рисунок 3. Кинематическая схема пружинного виброуплотнителя на основе пружины сжатия

Описанный механизм функционирует таким образом. При вращении кривошипа 1 шатун 3 приводится в возвратно-поступательные перемещения и с помощью поперечины 5 осуществляет периодические сжатия пружинного рабочего органа, который с такой же частотой за счет собственных внутренних сил упругости возвращается в исходное положение. Выполненный таким образом генератор колебаний погружается в бетонную смесь в целях ее последующего уплотнения.

На основе разработанного вибрационного механизма спроектируем технологический аппарат для проведения его полномасштабных натурных испытаний и создания в последующем пружинного виброуплотнителя промышленного назначения. Конструкция такого оборудования представлена на рисунке 4.

Рассматривая процесс активации компонентов бетонной смеси с помощью пружинного излучателя колебаний на основе математической

модели, учитывающей все виды внешних воздействий на эту динамическую систему, следует выделить особый механизм нагружения обрабатываемой массы, который заключается в том, что периодически сближающиеся между собой витки рабочего органа создают в объемах смеси значительные сжимающе-сдвиговые напряжения.

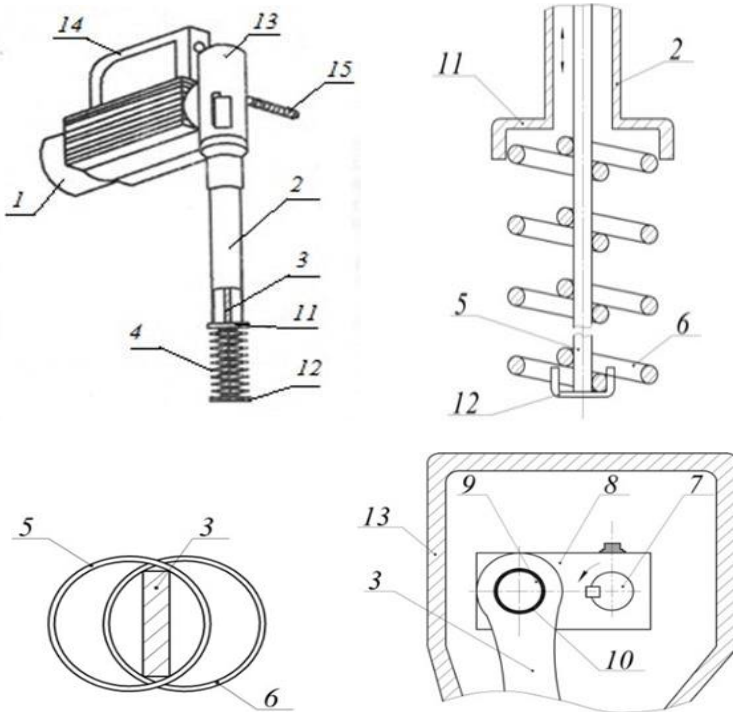


Рисунок 4. Конструкция пружинного виброуплотнителя с двумя совмещенными виброизлучателями:

- a* — общий вид пружинного виброуплотнителя; *б* — вариант монтажа пружинных излучателей колебаний; *в* — поперечный разрез составного виброизлучателя колебаний из двух помещенных друг в друга пружин; *г* — пример установки шатуна на оси кривошипа

Это позволяет, во-первых, произвести дополнительное диспергирование некоторого количества цемента, во-вторых, втереть значительную часть цемента в поверхность минеральных частиц и

вытеснить из нее мелкие пузырьки воздуха, в-третьих, образовать более однородную и плотную структуру бетонного камня. Общим итогом этой обработки является увеличение активной поверхности взаимодействия между собой всех компонентов бетонной смеси и, как следствие, улучшение качества бетонных изделий.

В ходе исследований установлено, что пружинный виброуплотнитель позволяет эффективно уплотнять практически все виды бетонных смесей независимо от их жесткости, гранулометрического состава, высоты уплотняемого слоя. При этом по сравнению с контрольными образцами, уплотненными на стандартных вибраторах, плотность массива, обработанного пружинными агрегатами, повышается не менее чем на 50 кг / м^3 , что явно свидетельствует о более высоком качестве уплотнения и возможном эффекте механоактивации.

Для выполнения технологических был спроектирован и изготовлен опытный образец пружинного виброуплотнителя, который изначально предназначен для проведения целой гаммы технологических испытаний на бетонных смесях действующих предприятий. Изготовленный аппарат полностью соответствует по конструкции схемам, приведенным на рисунках 3 и 4. Его общий вид представлен на рисунке 5, комплект основных узлов и агрегатов — на рис. 6.

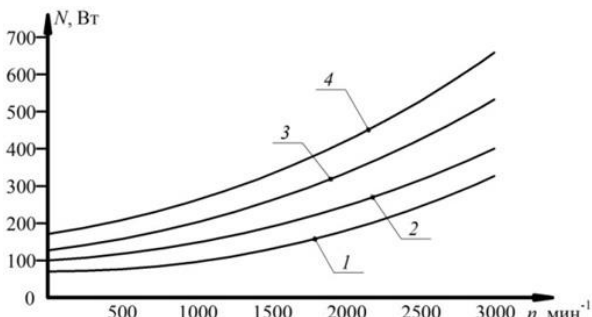


Рисунок 5. Общий вид опытного образца пружинного виброуплотнителя



Рисунок 6. Комплект основных узлов и агрегатов
опытного образца пружинного виброуплотнителя

На первом этапе экспериментальных исследований пружинного виброуплотнителя была проведена нагрузочная способность устройства, для чего проведены испытания по его работе в бетонной смеси с крупностью заполнителя 10...20 мм и осадкой корпуса 3...5 мм с погружением пружинного виброизлучателя на полную длину. Исследовалось влияние частоты колебаний виброизлучателя на потребляемую мощность для различных значений величины эксцентриситета кривошипа. Результаты испытаний представлены в графической форме на рис. 7.



1 — эксцентриситет 13 мм; 2 — эксцентриситет 16 мм;
3 — эксцентриситет 19 мм; 4 — эксцентриситет 22 мм

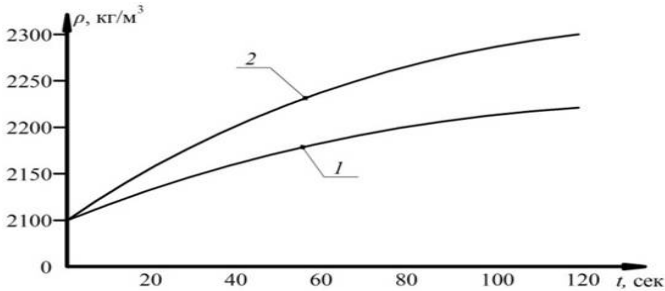
Рисунок 7. Влияние частоты колебаний виброизлучателя на потребляемую
мощность

На основании этих испытаний можно констатировать ряд заключений в работе пружинного виброгенератора колебаний. В первую очередь, четко прослеживается влияние частоты и амплитуда колебаний шатуна на потребляемую электроприводом мощность, во-вторых, что важно для конкретной конструкции, мощности двигателя оказалось достаточно для всех режимов работы при условии полного погружения виброизлучателя колебаний в бетонную смесь, в-третьих, помещение шатуна непосредственно в зону перекрытия цилиндрических пружин обеспечивает их требуемую устойчивость и ограничивает резонансные явления, которые проявляются в холостом режиме работы. Выявлены две зоны резонансных частот, но кроме визуального наблюдения они не исследовались. В будущем планируется использовать явления резонанса для управления процессом уплотнения.

Следует заметить, что, как это отмечается и при работе пружинных мельниц, при отсутствии обрабатываемого материала вибрация пружин существенно возрастает, а потребляемая мощность при форсированных параметрах вибрации составляет более 50 % мощности, которая расходуется в работе с уплотняемым материалом. Способность виброуплотнителя работать по методу «протяжки» подтвердилась в полной мере, причем для этого не требуется прилагать особых усилий, а оператору перемещать пружинный виброуплотнитель проще всего на «себя» при установке его под углом $60...75^\circ$ к горизонту.

Далее для исследования конкретных технологических возможностей пружинного виброуплотнителя были проведены испытания по влиянию времени виброобработки на плотность ρ уплотненного бетонного массива. Для этого приготовленную бетонную смесь по аналогии с предшествующим опытом уплотняли в небольшом объеме, а из-за ограничения по количеству опытов и их трудоемкости исследовались два режима работы виброуплотнителя. Первый: частота колебаний шатуна $n = 40$ Гц, амплитуда колебаний $A = 26$ мм; второй: $n = 40$ Гц, $A = 38$ мм. Результаты испытаний показаны на рисунке 8.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что уплотнение бетонной смеси в пружинных виброуплотнителях приводит к значительному повышению плотности бетона, следовательно, к увеличению его прочности. Прослеживается хорошая корреляция между параметрами вибрации и временем обработки бетонной смеси. При этом после 120 с вибрирования прирост плотности бетонного массива прекращается.



1 — частота колебаний $n = 40$ Гц, амплитуда колебаний $A = 26$ мм;
 2 — частота колебаний $n = 40$ Гц, амплитуда колебаний $A = 38$ мм

Рисунок 8. Влияние времени обработки бетонной смеси на плотность уплотненного бетона

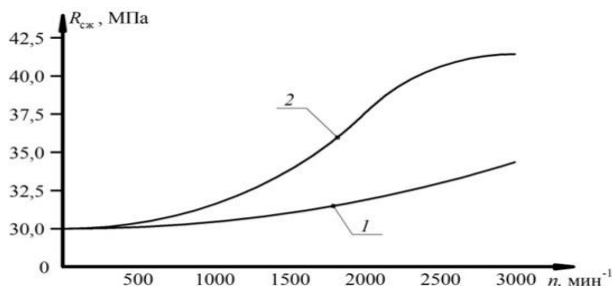
Максимальное увеличение плотности бетона на 100...200 кг / м³ по сравнению с контрольными образцами, т. е. полученными при ручном уплотнении, являются ценной информацией, которая показывает высокую эффективность работы пружинного виброуплотнителя и вызывает необходимость проведения дополнительных исследований по установлению влияния параметров вибрации на показатели качества получаемого бетона.

В качестве примера рассмотрим влияние частоты колебаний шатуна (пружинных излучателей) на прочность образцов затвердевшей бетонной смеси. Амплитуды колебаний, как и в предыдущих опытах, приняты равными 26 и 38 мм, что в пересчете на колебания отдельных витков дает значения 1,18 и 1,73 мм.

Исследуемая бетонная смесь приготавливалась на гранитном щебне крупностью 10...20 мм, кварцевом песке с модулем крупности $M_{кр} = 1,58$ мм и портландцементе Кричевского цементного завода марки М500. Приготавливалась бетонная смесь с $B / Ц = 0,4$ с осадкой конуса 30...50 мм. После уплотнения в течение 30 с и стадии затвердевания получали образцы — кубы с длиной ребра 100 мм, которые после набора прочности подвергались испытаниям на сжатие. Результаты испытаний приведены на рисунке 9.

В пределах возможных для реализации частот вращения приводного звена пружинного виброуплотнителя установлено, что прочность образцов бетона повышается по сравнению с контрольными образцами в

диапазоне частот колебаний 25...50 Гц на 5...14 % при амплитуде колебаний $A = 26$ мм и на 15...35 % при амплитуде колебаний $A = 38$ мм.



1 — амплитуда колебаний штока 26 мм;

2 — амплитуда колебаний штока 38 мм

Рисунок 9. Влияние частоты колебаний пружинного виброуплотнителя на прочность бетона

Увеличение амплитуды колебаний способствует передаче большего количества энергии в уплотняемую среду, что активизирует контактные взаимодействия на поверхности исходных компонентов, приводит к дезагрегации цемента и лучшему удалению воздуха с внешних слоев минеральных частиц.

Проведенные исследования пружинного способа уплотнения бетонных смесей охватывают только минимальную, необходимую для понимания основных процессов часть, которая показывает несомненную перспективность направления и его значимость для практического использования. Безусловно, здесь требуется выполнение широкого спектра исследований по изучению влияния геометрических, кинематических и энергетических параметров пружинных виброуплотнителей на их технологическую и экономическую эффективность, эксплуатационную надежность, эргономичность и ряд других показателей их работы.

В данной работе не рассмотрены технические решения других уплотнителей на основе упругих элементов, например, синусоидальных спиралей, пластин, оболочек и др. К их более детальной оценке целесообразно вернуться после соответствующих исследований пружинного способа уплотнения как обладающего необходимой

функциональной полнотой этого направления проектирования оборудования для уплотнения бетонных смесей.

Библиографический список:

1. Дроздов А.Н. Строительные машины и оборудования/А.Н. Дроздов. –М.: Изд. Цент. «Академия», 2012 – 448 с.

2. Мосаков Б.С. Основы технологии монолитного строительства/Б.С. Мосаков // Новосибирск, СГУПС, 2003.-258 с.

3. Баженов Ю.М. Технология бетона/ Ю.М.Баженов//М., Высшая школа,1978.-455 с.

4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона/И.Н. Ахвердов//М.Строиздат, 1981-464 с.

5. Хайнике Г.Трибохимия / Г.Хайнике: Пер. с англ.М.Г.Гольдфельда,-М.Мир, 1987,-594 с.

6. Ахвердов И.Н. Технология железобетонных изделий специального назначения/И.Н.Ахвердов, Минск, наука I тэхніка, 1993, -240 с.

7. Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан №28724 «Способ уплотнения бетонных смесей» по заявке №2013/1026.1 от 31.07.2013. Авт. Унаспеков Б.А.,Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л., Опубл. 15.07.2014, бюл. №7.

8. Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан №2724 «Способ уплотнения бетонных смесей» по заявке №2013/1026.1 от 31.07.2013. Авт. Унаспеков Б.А.,Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л., Опубл. 15.07.2014, бюл. №7.

9. Сиваченко Л.А. Пружинные виброуплотнители для глубинного уплотнения бетонных смесей / Л.А. Сиваченко, Л.П. Явенков, Г.М. Абдукликова // Межвузовский сб.статей Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2013, - С.398-402.

10. Сиваченко Л.А. Глубинный виброуплотнитель бетонных смесей с пружинным излучателем колебаний / Л.А. Сиваченко, Г.М. Абдукаликова // Межвузовский сб.статей Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2015, - С.197-300.