

УДК 691.327-666.97.03

ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ВИБРАТОРОВ ВИБРОПЛОЩАДОК ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Д.В. Фурманов, А.В. Барулев, Н.Е. Тарасова, Е.К. Чабуткин
ФГБОУ ВО «ЯГТУ»,
г. Ярославль, Россия
merkuryj@bk.ru
chabutkin-ek@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. При производстве сборного железобетона уплотнение бетонных смесей чаще всего осуществляется на виброплощадках с применением дополнительного пригруза. Работа оборудования осуществляется в резонансном режиме. При включении вибровозбудителя вся система (виброплощадка, форма с изделием и т.д.) проходит через резонанс, что сопровождается увеличенными амплитудами колебаний.

Материалы и методы. Применен экспериментальный метод исследования процесса динамического торможения инерционного вибратора. Параметры торможения и колебания рабочего стола записывались через регистрирующую аппаратуру на компьютер.

Результаты. Окончание процесса уплотнения изделия характеризуется увеличенными амплитудами колебаний рабочего стола. При этом возможен подсос воздуха в изделие и расслоение смеси, что отрицательно сказывается на качестве. Этот эффект наблюдается при выключении вибратора. Снизить отрицательные явления от прохождения резонанса, особенно в конце цикла уплотнения, когда изделие уже сформировано, возможно путем быстрой остановки вибровозбудителей технологической установки. В работе приведены результаты экспериментальных исследований различных способов торможения роторов вибратора. Приведены сравнительные характеристики процесса торможения.

Обсуждение и заключение. Даны рекомендации по использованию наиболее эффективных схем торможения инерционных вибраторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, железобетон сборный, виброплощадка, вибратор, амплитуда колебаний, уплотнение, торможение вибратора.

© Д.В. Фурманов, А.В. Барулев, Н.Е. Тарасова, Е.К. Чабуткин



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DYNAMIC BRAKING OF THE INERTIAL VIBRATOR OF VIBRATORY PLATES FOR CONCRETE MIXES COMPACTING

D.V. Furmanov, A.V. Barulev, N.E. Tarasova, E.K. Chabutkin

Yaroslavl State Technical University,

Yaroslavl, Russia

merkuryj@bk.ru

chabutkin-ek@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The production of precast concrete compaction of concrete mixtures is most often carried out on vibration platforms with the use of additional cantledge. Equipment operation is carried out in the mode, in which the oscillation frequency is higher than the resonant. With the turning on the vibration exciter, the entire system (vibration platform, product shape, etc.) passes through the resonance, which is accompanied by increased vibration amplitudes.

Materials and methods. The authors applied the experimental method of the research of the dynamic braking process of the inertial vibrator. The parameters of the deceleration and oscillation of the desktop were recorded by the computer monitoring installation.

Results. The ending of the product compaction process is characterized by increased oscillation amplitudes of the desktop. At the same time, air could be sucked into the product and the lamination of the mixture could take place, which adversely affects the quality. This effect is observed with the vibrator turning off. To reduce the negative phenomena from the passage of resonance, especially at the end of the sealing cycle when the product is already formed, quickly stopping of the vibration exciters of the technological installation could be applied. The paper presents the results of experimental studies of various methods of the vibrator rotors braking. The authors give comparative characteristics of the braking process.

Discussion and conclusion. The authors give recommendations on the use of the most effective braking schemes of the inertial vibrator.

KEYWORDS: concrete, precast reinforced concrete, vibration platform, vibrator, amplitude of oscillations, sealing, vibrator braking.

© D.V. Furmanov, A.V. Barulev, N.E. Tarasova, E.K. Chabutkin



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве железобетонных изделий широко применяется оборудование, позволяющее изменять режимы на различных стадиях уплотнения [1]. Уплотнение бетонных смесей с использованием переменных режимов вибрации позволяет улучшить качество выпускаемых изделий. Известно об эффективности использования переменных режимов вибрации с изменением частоты с более низких до более высоких значений^{1, 2} [2, 3]. В данном оборудовании для изменения режима приходится использовать либо два рабочих органа для изменения вынуждающей силы, либо перенастраивать оборудование для изменения частоты. Но в последнее время с применением частотных преобразователей появилась возможность использовать переменные режимы без переналадки и остановки оборудования.

Рядом отечественных и зарубежных исследователей выполнены работы по подбору рациональных режимов работы оборудования при производстве изделий из бетонных смесей [4, 5, 6, 7]. Однако процессы, связанные с непрерывным изменением параметров вибрации, изучены еще недостаточно. Исследования по подбору рациональных режимов уплотнения для производства плит перекрытий из бетона марки М500, проведенные на кафедре СДМ ЯГТУ, на опытной установке с использованием частотного преобразователя (рисунок 1) позволили получить целевую функцию влияния различных факторов на прочность получаемых образцов:

$$\begin{aligned} [\sigma] = & -22,37 + 0,81\omega + 5,35me - 0,2t - \\ & - 0,13\omega \cdot me + 0,01me \cdot t - 0,001\omega \cdot me \cdot \\ & \cdot t + 0,002\omega \cdot t, \end{aligned}$$

где $[\sigma]$ – предел прочности образца, МПа; ω – частота вибрации, Гц; me – статический момент дебалансов, кг·см; t – время уплотнения, с.



Рисунок 1 – Блок управления опытной виброплощадки

Figure 1 – Control unit of the experimental vibration platform

Наиболее эффективным является режим уплотнения с частотами порядка 20 Гц в течение 35...40 с в начале цикла уплотнения с последующим увеличением частоты до 70...90 Гц [8]. Такая технология по сравнению со стандартной (применение виброплощадки с пригрузом) позволяет повысить прочность изделия примерно на 30% (рисунок 2). Этот вывод косвенно подтверждается и другими исследователями [9, 10].

Очевидно, что повышение качества происходит еще и потому, что регулирование частотного диапазона происходит непрерывно. Из технологического процесса формирования исключены операции выключения вибровозбудителя виброплощадки и включения вибровозбудителя пригруза. При этом нет необходимости многократного прохождения технологического оборудования через резонансный режим (все элементы оборудования работают в зарезонансном режиме [11, 12]), не наблюдается эффектов расслоения смеси и подсоса воздуха.

Однако проблема увеличения амплитуды

¹ Овчинников П.Ф. Виброреология. Киев : Наук. думка, 1983. 272 с.

² Чабуткин Е.К. Барулев А.В. О некоторых аспектах уплотнения бетонных смесей // Составляющие научно-технического прогресса : сб.тр. Всеросс. конф. Тамбов, 2008. С. 134–136.

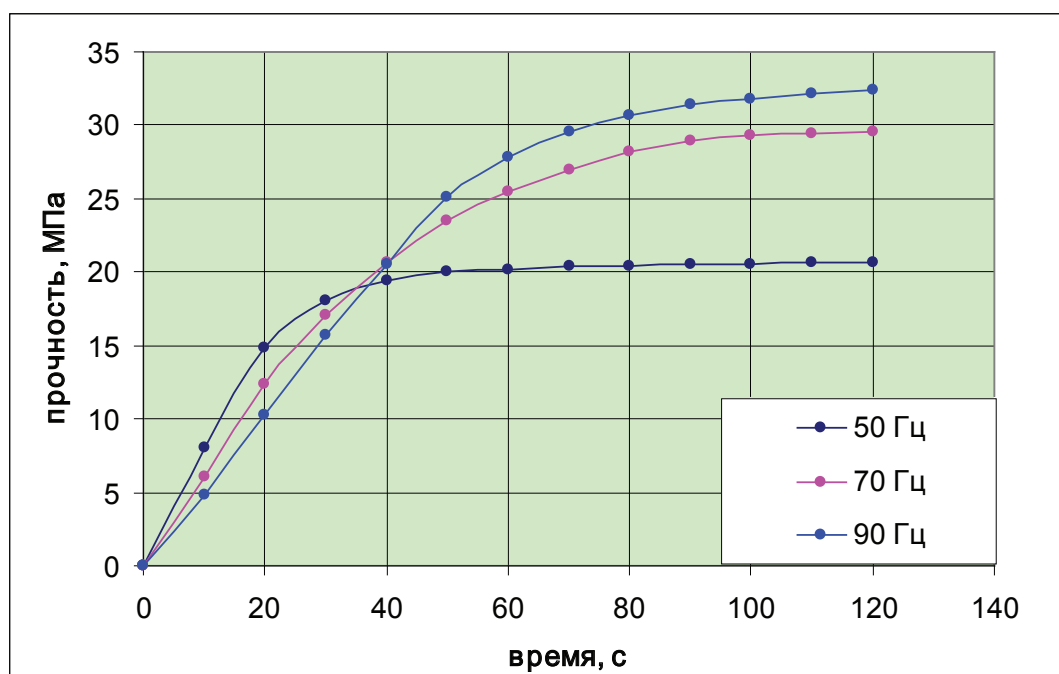


Рисунок 2 – Зависимость прочности от времени уплотнения при различных значениях частоты вибрации

Figure 2 – Strength dependence from the time of the sealing at different vibration frequencies

колебания виброплощадки при ее выключении остается, так как при этом все равно приходится проходить через резонансный режим. Для снижения этого эффекта необходимо как можно быстрее остановить работу вибровозбудителя. Однако большие массы отдельных элементов технологического оборудования и самого изделия зачастую затрудняют решение данного вопроса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретический анализ эффективности того или иного способа торможения двигателя вибратора требует точного определения нагрузки на двигатель, действительное значение которой неизвестно. Кроме того, в процессе эксплуатации меняются параметры системы, например масса изделий, размещаемых на вибростол, напряжение в сети переменного тока и т. д. Поэтому для обоснования эффективного способа торможения вибратора был выбран экспериментальный метод.

С этой целью был дооснащен необходимым электрооборудованием вибропресс ОПТБ-400, разработанный на кафедре «Стро-

ительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета.

Вибропресс ОПТБ-400 (рисунок 3), предназначенный для производства теплоэффективных блоков³ [15, 16], тротуарной плитки, рядовых блоков и других изделий небольших габаритных размеров, предназначенных для гражданского строительства.

Оборудование состоит из рамы 1, двух направляющих 2, по которым перемещается траверса 3 с матрицей 4 и пуансонами. Вибростол 5 с двумя промышленными вибраторами 6 устанавливается на раме через блок пружин 7. Для задач эксперимента на одну из направляющих вибропресса устанавливался лазерный датчик перемещений 8, показания которого преобразовывались через измерительную систему 9 и записывались на компьютер 10.

В ходе эксперимента были последовательно реализованы схемы без динамического торможения, с замыканием обмоток двигателя вибратора, с конденсатором и с кратковременной подачей постоянного тока. В цепь управления устанавливалось реле времени с возможностью регулирования времени задержки отключения от 0,1 до 5 с.

³ Справочник по электрическим машинам : в 2 т. / под общ. ред. И. П. Копылва, Б.К. Клокова. М. : Энергоатомиздат, 1989. 688 с.



Рисунок 3 – Общий вид вибропресса ОПТБ-400 с установленной измерительной системой

Figure 3 – General view of OPTB-400 vibropress with installed measuring system

РЕЗУЛЬТАТЫ

Решением проблемы может стать торможение ротора вибратора в момент его отключения. Причем требуется торможение вибратора в резонансной зоне частоты колебаний. При достижении дорезонансной частоты остановка вибратора может продолжаться за счет сил сопротивления в подшипниках и на качество изделий не повлияет в виду существенного уменьшения амплитуды вынуждающей силы. Известно несколько эффективных способов торможения⁴.

Механическое торможение вибраторов приводит к существенному усложнению конструкции, и, соответственно, стоимости. Кроме того, конструктивная реализация таких решений для мощных типовых промышленных вибраторов невозможна.

Выходом для решения проблемы может стать динамическое торможение электродвигателя вибратора⁵, которое может быть реали-

зовано по схемам с кратковременным включением в цепь электродвигателя конденсатора, или постоянного тока (рисунок 4, а, б). Кроме того могут быть реализованы схемы с кратковременным обратным включением и замыканием обмоток в период отключения вибратора (рисунок 4, в, г).

Схемы защищены автоматическим выключателем QF1, а электродвигатель – дополнительно защищен плавкими вставками. Подвод питания на электродвигатель осуществляется при помощи контактора K1, установленного совместно с кнопкой включения S1 и кнопкой отключения S2. Для схемы с замыканием обмоток устанавливается контактор с контактами в виде переключателя.

Реализация схем с конденсаторами, кратковременным противовключением и кратковременной подачей на обмотки постоянного тока возможна только при использовании реле времени, коммутируемого от кнопки включения S2 вторым контактом. С этой целью

⁴ Там же.

⁵ Чернышев А.Ю., Дементьев Ю.Н., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока : учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 213 с.

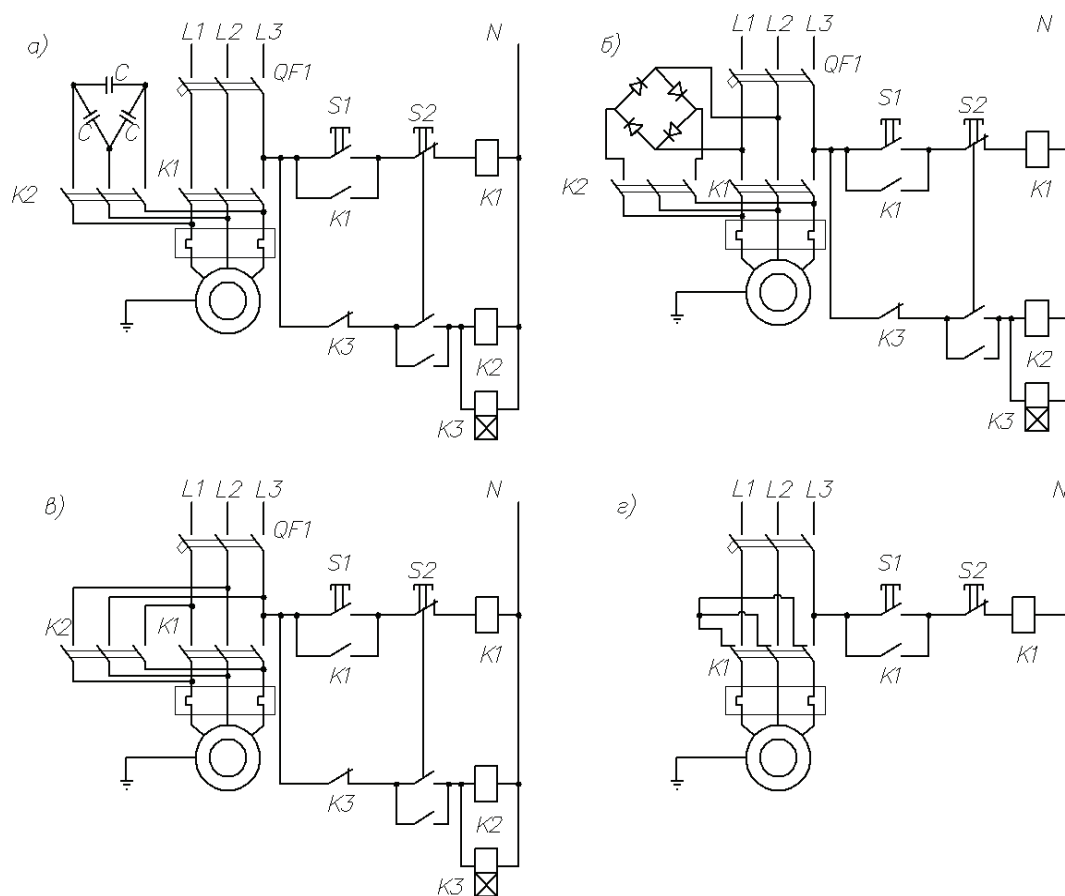


Рисунок 4 – Схемы динамического торможения электродвигателя вибратора:
а – с включением конденсаторов; б – с включением постоянного тока;
в – с кратковременным обратным включением; г – с замыканием обмоток

Figure 4 – Schemes of dynamic braking of the vibrators electromotor
a – with the inclusion of capacitors; б – with the inclusion of direct current;
в – with short-term reverse inclusion; г – with closing windings

дополнительно замыкается катушка контактора K2 и катушка реле времени K3 с задержкой отключения. По истечении необходимого времени, которое задается в зависимости от характера процесса торможения от 0,3 до 2 с, контакт катушки K3 размыкается, разрывая цепь катушки K2.

Каждая из указанных схем имеет право на существование, однако эффективность того или иного метода динамического торможения будет различной. Это связано с тем, что ЭДС самоиндукции ротора поддерживается за счет наличия тока в обмотках статора и некоторой минимальной частотой вращения вала двигателя. Учитывая это, при однократной потере ЭДС в обмотках короткозамкнутого ротора двигателя вибратора, дальнейший процесс торможения будет невозможен. Процесс торможения также будет невозможен пассивными

методами до полной остановки вала двигателя. К пассивным методам следует отнести все перечисленные методы, кроме торможения противовключением.

Следовательно, можно ожидать, что торможение каким-либо методом будет осуществляться только до достижения некоторой частоты вращения двигателя, ниже которой ЭДС самоиндукции ротора перестанет наводиться. Важно, чтобы эта частота соответствовала частоте колебаний вибратора и находилась в диапазоне существенно ниже резонансной или собственной частоты колебаний виброплощадки.

В ходе экспериментальных работ построены осциллограммы перемещений виброплощадки для различных схем торможения двигателя вибратора, некоторые из которых представлены на рисунке 5.

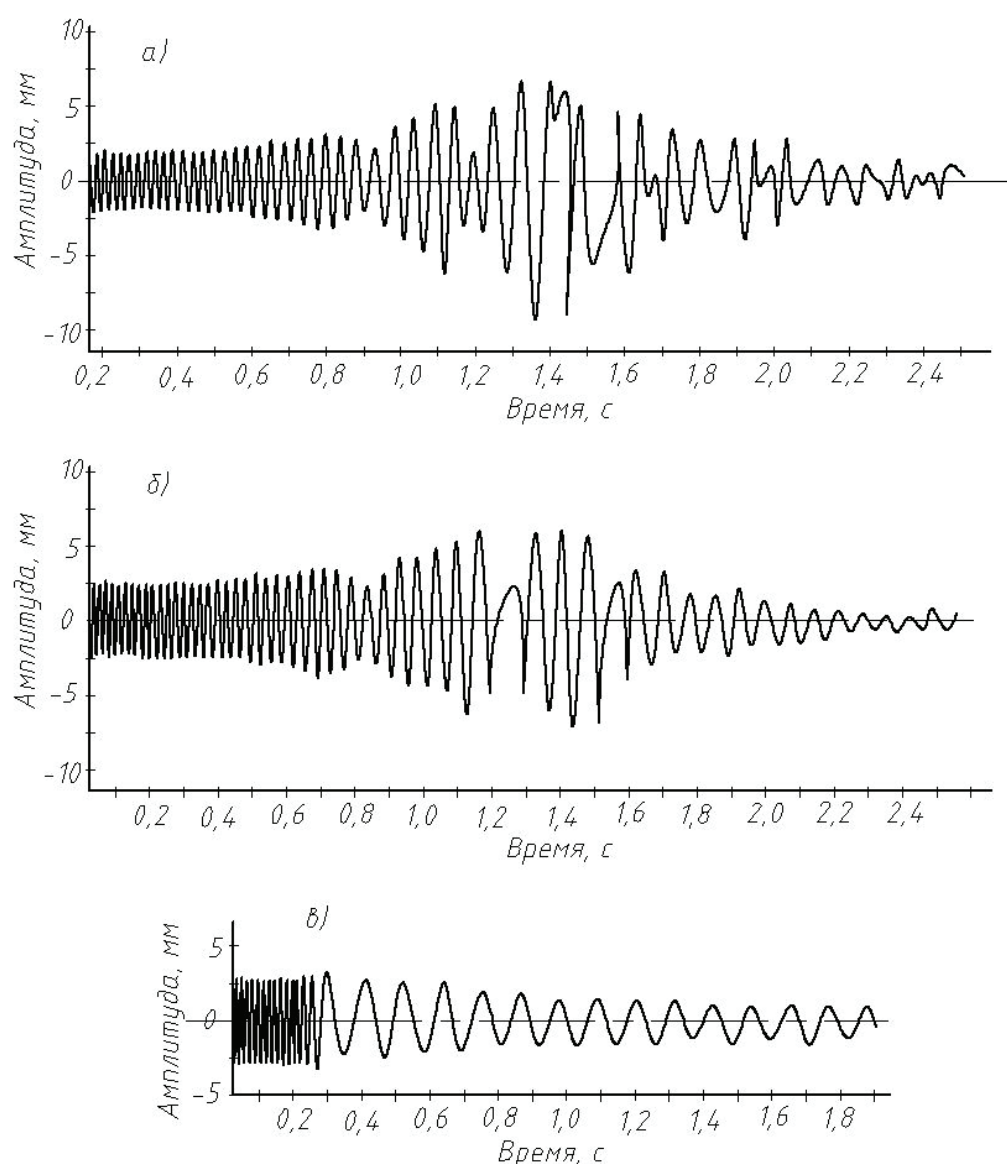


Рисунок 5 – Амплитуды колебаний виброплощадки для различных способов торможения двигателей вибратора:
а – с замыканием обмоток статора; б – с включением конденсаторов;
в – кратковременное включение постоянного тока

Figure 5 – Vibration amplitudes of the vibration platform at the different methods of vibrator motors braking
a – with closing of the stator windings; b – with the inclusion of capacitors;
c – short-term inclusion of direct current

Опыт торможения противовключением обмоток двигателя показал высокую эффективность, проявляющуюся в быстрой остановке двигателя. Однако сам процесс торможения весьма не стабилен. Ввиду неоднородности нагрузки на вал вибратора (дебалансы вибровозбудителя представляют собой большие, неуравновешенные инерционные массы) и неточности срабатывания реле времени, валы вибратора либо начинали вращаться в обрат-

ную сторону (переход границы полной остановки вибровозбудителя), либо не успевали полностью остановиться при срабатывании реле времени. Все это негативно отражается на амплитуде колебаний виброплощадки и велика вероятность приближения к резонансному режиму работы оборудования. Очевидно, что из-за повышенной нестабильности процесса торможения противовключением его невозможно рекомендовать для использования

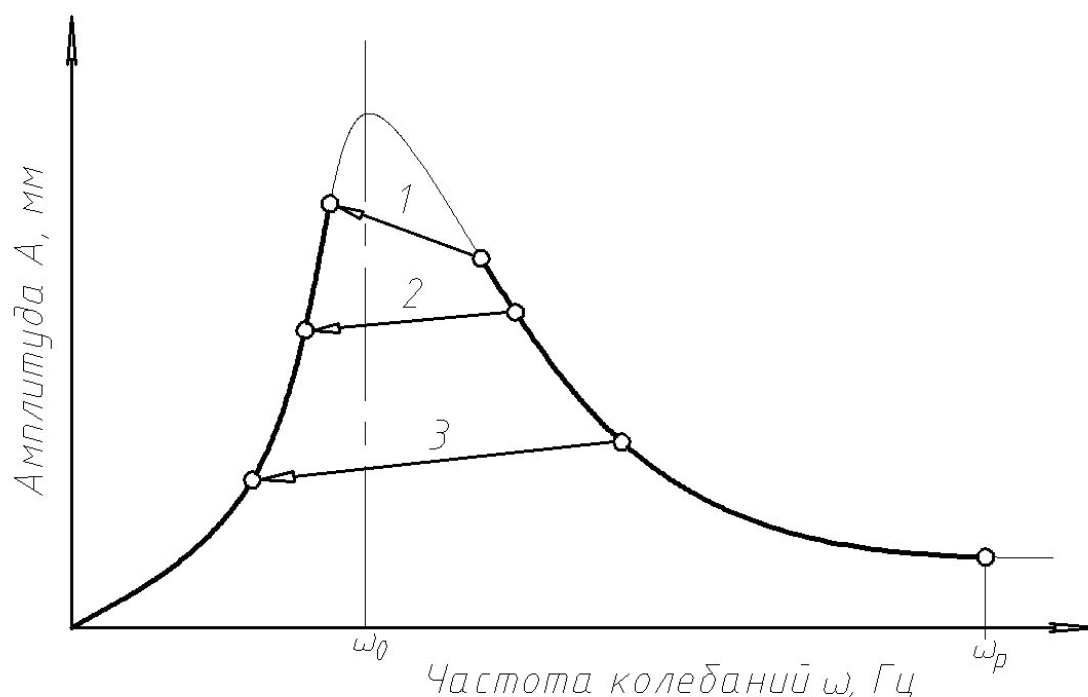


Рисунок 6 – Амплитудно-частотная характеристика колебаний виброплощадки при различных способах торможения ротора вибратора:
1 – торможение путем замыкания обмоток статора; 2 – торможение подключением конденсаторов; 3 – торможение кратковременным включением в цепь постоянного тока

Figure 6 – Amplitude-frequency characteristic of vibrations of the vibration platform at different methods of inhibition of the vibrator rotor:
1–braking by closing the stator windings; 2–braking by connecting capacitors; 3–braking by short-term inclusion in the DC circuit

на больших промышленных установках. Вероятно, при включении в схему управления виброплощадкой программируемого частотного преобразователя удастся несколько стабилизировать процесс торможения, но это требует дополнительного изучения.

Процесс динамического торможения путем замыкания обмоток статора не является эффективным (рисунок 5,а). Для этого метода характерно существенное повышение амплитуды перемещений стола виброплощадки, несмотря на то, что в начале процесса торможения остановка вала вибратора имеет место. Очевидно, что этот эффект связан с медленным прохождением резонансного диапазона. Анализ осциллограмм показывает, что данный процесс занимает до 1,2 секунды с одновременным увеличением амплитуды раскачки в 2...3 раза. На больших промышленных виброплощадках с мощными вибровозбудителями процесс торможения будет еще более длительным со значительной раскачкой стола.

При подключении конденсаторов происходит аналогичный эффект. Однако время про-

хождения резонансного диапазона несколько сокращается и занимает до 0,8 с (рисунок 5, б). Динамическое торможение при использовании этого способа осуществляется слабо, а при низких частотах вращения вообще отсутствует. Объяснить этот эффект возможно тем, что двигатель работает в обоих случаях в генераторном режиме. Ток генератора в этом случае зависит от остаточной магнитной индукции ротора, которая в период отключения весьма ослабевает.

Способ динамического торможения кратковременным включением в цепь постоянного тока, как показали результаты исследований, оказался наиболее эффективным. Увеличение амплитуды колебаний виброплощадки при таком подключении незначительно (рисунок 5, в), а время прохождения резонансного диапазона занимает не более 0,2 с. Дальнейшие перемещения стола происходят за счет инерционности больших масс (конструкция самой виброплощадки, форма и само изделие), но без раскачки до полной остановки рабочего органа установки.

Сопоставление теоретической амплитудно-частотной характеристики виброплощадки⁶ и экспериментальных данных по торможению (см. рисунок 5) показало, что большое влияние оказывает время перехода с резонансного режима в дорезонансный (рисунок 6).

При динамическом торможении путем замыкания обмоток статора из-за большой инерционности процесса вся система выходит на высокие дорезонансные амплитуды (кривая 1). При подключении конденсаторов инерционность процесса несколько ниже, однако амплитуды колебаний остаются достаточно высокими (кривая 2). Способ динамического торможения кратковременным включением в цепь постоянного тока позволяет снизить инерционность процесса, а значит и свести время перехода к минимуму (кривая 3), что оказывает положительное влияние на качестве изделия [15].

В то же время следует отметить, что эксперимент проводился без нагрузки рабочего стола виброплощадки. Очевидно, что время торможения ротора вибратора останется соразмерным полученным результатам, поскольку инерционные массы ротора остаются неизменными.

При увеличении нагрузки на рабочем столе изменится структура амплитудно-частотной характеристики площадки (резонансная частота, высота пика амплитуды при переходе через резонанс и т.д.). При этом могут измениться и амплитудные составляющие переходного процесса торможения. В связи с вышесказанным в дальнейшем потребуется дополнительно изучить влияние параметров рабочего оборудования на переходный режим торможения и, соответственно, на прочность выпускаемого изделия.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование частотных преобразователей в схеме управления виброплощадки при производстве сборного бетона и железобетона позволяет управлять режимом уплотнения непрерывно и подбирать рациональные параметры под конкретные характеристики изделия. При этом возможно повышение как прочностных характеристик, так и других качественных показателей.

Однако до настоящего времени не решен вопрос раскочки стола виброплощадки в мо-

мент остановки оборудования, что приводит к снижению характеристик уже сформированного изделия. Решением проблемы может стать торможение ротора вибратора в момент его отключения.

Экспериментальная проверка различных способов торможения инерционных вибраторов показала, что наиболее эффективным является динамический способ торможения кратковременным включением в цепь постоянного тока. При этом затраты на оборудование совсем незначительны.

В то же время переходные процессы торможения зависят не только от инерционной массы ротора вибратора, но и от параметров рабочего оборудования, в частности от массы рабочего стола с формой и изделием, жесткости подвески стола. Влияние этих параметров на указанные переходные процессы требует дальнейшего изучения.

Проведенные исследования могут представлять интерес как для конструкторов, разрабатывающих новое оборудование для формования изделий из бетона, так и для эксплуатирующих организаций, заинтересованных в повышении качества выпускаемых изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Maslov A.G. & Salenko Y.S. Vibrating machines and processes in road construction industry: monograph. PB Cherbatykh, Kremenchuk, Ukraine. 2014.
2. Juradin S, Baloević G & Harapin A Impact of Vibrations on the Final Characteristics of Normal and Self-compacting Concrete. *Journal of Materials Research*, 2014, 17(1), pp. 178–185.
3. Маслов А.Г., Жанар Батсайхан Исследование колебаний рабочего органа машины для уплотнения бетонных смесей в вибрационном рабочем режиме // Вестник КрНУ имени Михаила Остроградского. 2015. Выпуск 2 (91). С. 120–125.
4. Chen X, Wu S & Zhou J, Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete, *Journal of Construction and Buildings Materials*, 2013, Vol. 47, pp. 662–670.
5. Kłosiński J., Trąbka A. Frequency analysis of vibratory device model (in Polish). *Pneumatyka*, 2010, 1, pp. 46–49.
6. Tattersall G.H. Effect of Vibration on the Rheological Properties of Fresh Cement Pastes

⁶ Барулев А.В., Чабуткин Е.К. Исследование переходных режимов при уплотнении бетонных смесей при помощи математической модели. Математика и математическое образование. Теория и практика : межвуз. сб. науч. тр. Вып. 7. Ярославль : ЯГТУ, 2010. С. 213–219.

and Concretes, Rheology of Fresh Cement and Concrete, Proceedings of the International Conference, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16 - 29, Chapman and Hall, London, 1990, pp. 323–338.

7. Nesterenko M., Maslov A., Salenko J. Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture International Journal of Engineering & Technology, 2018, 7 (3.2), pp. 260–264

8. Чабуткин Е.К., Барулев А.В. Производство бетонных смесей с использованием регулируемых режимов вибрации // Строительные и дорожные машины. 2015. № 4. С.16–18.

9. Koh H.B., Yeoh D & Shahidan S Effect of re-vibration on the compressive strength and surface hardness of concrete. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2017, 271, 012057.

10. Sudarshan NM & Chandrashekar Rao T Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and UHPFRC. International Journal of Applied Engineering Research, 2017, Vol. 12, 8th edn, pp. 1683–1690.

11. Maslov A.G, Itkin A.F. & Salenko Y.S. Vibrating machines for the preparation and compaction of concrete mixes. PB Cherbaty, Kremenchuk, Ukraine. 2014.

12. Stacenko A.S. Technology of stone works in construction. Vysh. shk., Minsk, Belorussiya. 2010.

13. Афанасьев С.А. Строительный материал – теплоблок // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 2056–2058.

14. Морозова Е.В. Перспективы применения теплоблоков в гражданском строительстве Кемеровской области // В сборнике: Россия молодая. Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. 2015. С. 708.

15. Чабуткин Е.К., Барулев А.В. Опыт использования переменных режимов вибрации при производстве ЖБИ // Механизация строительства. 2017. Т.78, № 7. С.38–41.

REFERENCES

1. Maslov A.G. & Salenko Y.S. Vibrating machines and processes in road construction industry: *monograph*. PB Cherbaty, Kremenchuk, Ukraine. 2014.

2. Juradin S, Baloević G & Harapin A, Impact of Vibrations on the Final Characteristics of Normal and Self-compacting Concrete. *Journal of Materials Research*, 2014; 17(1): 178–185.

3. Maslov A.G., Zhanar Batsaikhan Issledovanie kolebanii rabocego organa mashiny dlia uplotnenia betonnyh smesei v vibracionnom rabocem regime [Study of oscillations of the working body of the machine for compaction of concrete mixes in a vibratory operating mode]. *Bulletin of KrNU named after Mikhail Ostrogradsky*. Kremenchug, 2015; 2 (91): 120–125 (in Russian).

4. Chen X, Wu S & Zhou J, Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete. *Journal of Construction and Buildings Materials*, 2013; 47: 662–670.

5. Kłosiński J., Trąbka A. Frequency analysis of vibratory device model (in Polish). *Pneumatyka*, 1, 2010; pp. 46–49.

6. Tattersall G.H. Effect of Vibration on the Rheological Properties of Fresh Cement Pastes and Concretes, Rheology of Fresh Cement and Concrete, *Proceedings of the International Conference*, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16- 29, Chapman and Hall, London, 1990; pp. 323–338.

7. Nesterenko M., Maslov A., Salenko J. Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture. International Journal of Engineering & Technology, 2018; 7(3.2): 260–264.

8. Chabutkin E.K., Barulev A.V. Proizvodstvo betonnyh smesei s ispolzovaniem reguliruemym regimov vibracii [Production of concrete mixtures using controlled vibration modes]. *Construction and road machines*, 2015; 4: 16–18 (in Russian).

9. Koh HB, Yeoh D & Shahidan S. Effect of re-vibration on the compressive strength and surface hardness of concrete. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017; p. 271.

10. Sudarshan NM & Chandrashekar Rao T Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and UHPFRC. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017; 8(12): 1683–1690.

11. Maslov A.G, Itkin A.F. & Salenko Y.S. Vibrating machines for the preparation and compaction of concrete mixes. PB Cherbaty, Kremenchuk, Ukraine. 2014.

12. Stacenko A.S. Technology of stone works in construction. *Vysh. shk.*, Minsk, Belorussiya, 2010.

13. Afanasiev S.A. Stroitelnyi material - teploblok [Building material – heat block]. *In the collection: international scientific and technical conference of young scientists BSTU. V. G. Shukhov, Belgorod state technological University. V. G. Shukhov*. 2016; pp. 2056–2058 (in Russian).

14. Morozova E.V. Perspektivy primeneniya teploblokov v grazhdanskom stroitelstve Kemerovskoi oblasti [Prospects of application of

heat blocks in civil engineering of the Kemerovo region]. In the collection: *Russia young collection of materials VII all-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation*, Kemerovo, 2015. 708 p. (in Russian).

15. Chabutkin E.K. Opyt ispolzovania peremennykh regimov vibratsii pri proizvodstve GBI [Experience with the use of variable modes of vibration in the production of concrete]. *Mechanization of construction*, 2017; 7(78): 38–41 (in Russian).

Поступила 06.03.2018, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фурманов Денис Владимирович – канд. техн. наук, доц., кафедра «Строительные и дорожные машины», «Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)», ORCID 0000-0002-6932-6477 (150023, Ярославская область, г. Ярославль, Московский просп., д. 88), e-mail: merkuryj@bk.ru.

Барулев Антон Владимирович – инженер, кафедра «Строительные и дорожные машины», «Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)», (150023, Ярославская область, г. Ярославль, Московский просп., д. 88), e-mail: antonbarulev@yandex.ru.

Тарасова Наталья Евгеньевна – канд. техн. наук, доц., кафедра «Строительные и дорожные машины», «Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)», (150023, Ярославская область, г. Ярославль, Московский просп., д. 88), E-mail: tarasovane@ystu.ru.

Чабуткин Евгений Константинович – канд. техн. наук, доц., кафедра «Строительные и дорожные машины», «Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)», ORCID 0000-0001-6979-410X (150023, Ярославская область, г. Ярославль, Московский просп., д. 88), e-mail: chabutkin-ek@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denis V. Furmanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl State Technical University (YGTU), ORCID 0000-0002-

6932-6477 (150023, Yaroslavl Region, Yaroslavl, 88 Moskovsky Ave., e-mail: merkuryj@bk.ru).

Anton V. Barulev – Engineer, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl State Technical University (YGTU) (150023, Yaroslavl Region, Yaroslavl, 88 Moskovsky Ave., e-mail: antonbarulev@yandex.ru).

Natalia E. Tarasova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl State Technical University (YGTU) (150023, Yaroslavl Region, Yaroslavl, 88 Moskovsky Ave., e-mail: tarasovane@ystu.ru).

Evgenii K. Chabutkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl State Technical University (YGTU), ORCID 0000-0001-6979-410X (150023, Yaroslavl Region, Yaroslavl, 88 Moskovsky Ave., e-mail: chabutkin-ek@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Фурманов Денис Владимирович – общее руководство работой, разработка схемы экспериментальной установки, участие в проведении экспериментальных исследований и обработке полученных результатов.

Барулев Антон Владимирович – изготовление и настройка экспериментального оборудования, планирование эксперимента, участие в проведении экспериментальных исследований, написание вводной части работы.

Тарасова Наталья Евгеньевна – участие в проведении экспериментальных исследований, обработка полученных результатов, написание основного раздела работы.

Чабуткин Евгений Константинович – общее руководство работой, корректировка содержательной части работы, формулирование результатов работы.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Denis V. Furmanov – general management of the research, development of the experimental setup scheme, participation in experimental research and processing of the obtained results.

Anton V. Barulev – production and adjustment of experimental equipment, planning of experiment, participation in experimental research, writing of the introduction part of the paper.

Natalia E. Tarasova – participation in experimental research, processing of the obtained results, writing of the results part of the paper.

Evgenii K. Chabutkin – general management of the research, correction of the paper content, results formulation.