

## Оценка влияния дисперсного армирования на коэффициент конструктивного качества вибрированных и центрифугированных тяжелых бетонов на гранитном щебне

*Е.М. Щербань, С.А. Стельмах, А.А. Чернильник,*

*М.П. Нажуев, В.О. Экизян, Х.Х. Симанов*

*Донской государственной технической университет*

**Аннотация:** В статье приведены и изучены теоретические основы вибрационного и центробежного уплотнения тяжелых бетонов в технологии производства строительных изделий и конструкций. Уделено внимание такому приему как вибропрессование. Описана физическая сущность, раскрыты явления процессов, происходящих во время формирования таких изделий и конструкций. Рассмотрено и оценено влияние дисперсного армирования вибрированных и центрифугированных бетонов различными видами фибровых волокон на их коэффициент конструктивного качества.

**Ключевые слова:** вибрированный бетон, центрифугированный бетон, дисперсное армирование, коэффициент конструктивного качества, вибропрессование.

Дисперсно-армированные фибробетонные конструкции, как вибрированные, так и центрифугированные, имеют ряд преимуществ по сравнению с аналогичными без фибрового армирования, и их исследование представляет научный и практический интерес для современной строительной отрасли [1-4].

Физическая сущность уплотнения бетонной смеси путем механического воздействия заключается в том, чтобы создать компактную пространственную упаковку всей твердой фазы в целях снижения пористости бетона, повышения его гомогенности и увеличения прочности [5-7].

В зависимости от реологических свойств способы воздействия на бетонную смесь и механизм ее уплотнения могут быть различными. Чем меньше свободной воды в бетонной смеси, тем больше структурное сопротивление цементного теста деформации уплотнения и тем интенсивнее должно быть механическое воздействие на смесь. Поэтому при уплотнении жестких бетонных смесей необходимы средства воздействия, способные вызвать разрушение структурной связности цементного теста для перевода

---

его в состояние вязкой жидкости. Одним из эффективных средств воздействия на цементное тесто является вибрирование [8-11].

При вибрационном воздействии в результате преодоления сил сцепления между цементными зернами и дезориентации молекул диффузной воды происходит тиксотропное разжижение цементного теста, и зерна заполнителя под влиянием собственного веса и сил инерции располагаются в бетонной смеси более компактно.

При интенсивной высокочастотной вибрации происходит полная дезагрегация (пептизация) флокул твердой фазы, способствующая переходу дополнительного количества воды в связанное состояние после прекращения вибрационного воздействия. возникающее новое состояние равновесия системы характеризуется компактным пространственным расположением цементных зерен, т. е. образованием плотной коагуляционной структуры цементного теста, на фоне которой в процессе твердения формируется прочная кристаллизационная структура цементного камня [12-15].

Согласно представлениям теории радиационной коагуляции, предполагается, что в акустическом поле возникает радиационное давление (давление излучения), под действием которого высвобождается дополнительная поверхностная энергия, способствующая активизации сил притяжения между колеблющимися частицами. В связи с этим уменьшается межзерновое пространство и из цементного теста отжимается свободная вода вместе с взвешенными в ней мельчайшими частицами [16-18].

Центрифугирование как средство уплотнения нашло применение в начале настоящего столетия в металлургии, а также при формовании железобетонных изделий, главным образом опор и труб, то есть элементов кольцевого сечения.

В 20-30-х годах 20 века сформулированы некоторые теоретические положения технологии центрифугирования, позаимствованные из механики

---

твердого тела, и получил зависимости, которыми руководствуются по настоящее время в производстве железобетонных центрифугированных изделий. Недостаточная изученность метода центрифугирования сказалась в первую очередь при изготовлении железобетонных напорных труб. В связи с этим возникла необходимость рассмотреть ряд технологических вопросов [19-22].

Центробежное уплотнение имеет много общего с вибропрессованием, при котором вибрирование используется в основном как средство укладки бетонной смеси перед приложением равно мерно распределенной нагрузки (давления) к ее поверхности. При прессовании бетонной смеси в ограниченном пространстве (форме) нормальное давление убывает с увеличением толщины образца по криволинейному закону вследствие потери части давления на трение.

Если же уплотнение бетонной смеси происходит в неограниченном пространстве, то величина потери давления будет значительно меньшей, однако и в этом случае большее уплотнение смеси произойдет в слоях, расположенных ближе к поверхности приложения давления. При этом анизотропия плотности бетона будет тем меньше, чем тоньше бетонный слой.

Из уплотненного центрифугированием бетона можно после его перемешивания отжать некоторое количество воды при повторном центрифугировании.

Это явление, не получившее до сих пор должного объяснения, происходит по следующей причине. В центрифугированном бетоне  $(В/Ц)_{ост}$  по толщине стенки изделия неодинаковые; если перемешать бетонную смесь, уплотненную центрифугированием, вода в ней равномерно перераспределится и при повторном центрифугировании некоторое количество ее отождется из слоев бетона, более удаленных от оси вращения

---

формы. Чем больше (В/Ц) после одноразового уплотнения бетонной смеси, тем больше воды будет отжиматься из нее после перемешивания и повторного центрифугирования.

Уплотнение бетонной смеси под влиянием колебательных импульсов происходит послойно и при известных условиях оно сопровождается гидродинамическим процессом отжатия воды (турбулентной фильтрацией) с вытеснением взвешенных в ней наиболее мелких фракций цемента. В последнем случае фильтрационные протоки, возникающие при активизации сил сцепления частиц, не сохраняются, так как они заплывают после вибрации при превращении цементного теста из тиксотропно разжиженной системы в псевдотвердое тело [23].

В процессе центрифугирования одновременно происходят два явления: уплотнение и сепарация высокодисперсных фракций цемента и содержащихся в нем гидравлических добавок, образующих вместе с отжатой водой шлам [24].

В научно-исследовательской лаборатории Донского государственного технического университета была поставлена задача и проведены исследования по оценке влияния технологии изготовления (вибрирование, центрифугирование) и состава фибробетона (вида фиброволокна – полипропиленовое, базальтовое, стальное) на их конструктивную характеристику – коэффициент конструктивного качества.

На данном этапе исследования в качестве базового крупного заполнителя был принят гранитный щебень Воронежской области, физико-механические характеристики которого приведены в таблице №1.

Таблица №1

Физико-механические характеристики примененного гранитного щебня

Наименование показателей	Значение показателей
Содержание пылеватых и глинистых частиц, % по массе	0,66

Содержание глины в комках, % по массе	-
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм	37,0
Дробимость, % по массе	10,6

Результаты проведенных исследований по оценке влияния технологии изготовления и состава фибробетонов на их коэффициент конструктивного качества приведены в таблице №2 и на рис. 1.

Таблица №2

Результаты проведенных исследований

Технология изготовления фибробетона	Вид фибрового волокна	Коэффициент конструктивного качества
Вибрирование	Полипропиленовое	15,7
Вибрирование	Базальтовое	16,6
Вибрирование	Стальное	19,1
Центрифугирование	Полипропиленовое	16,0
Центрифугирование	Базальтовое	17,0
Центрифугирование	Стальное	19,6

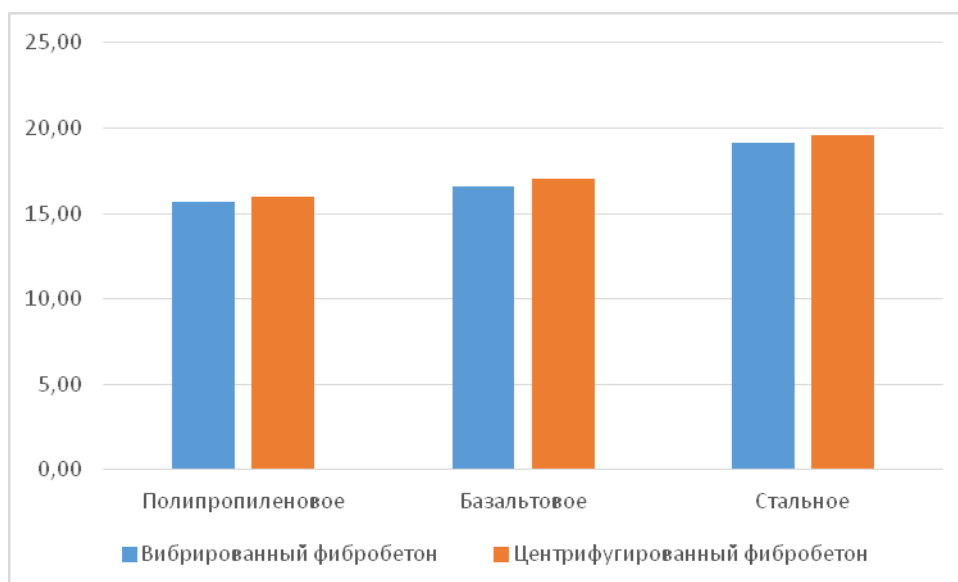


Рис. 1 – Графическое представление приростов коэффициента конструктивного качества исследованных фибробетонов

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Коэффициент конструктивного качества у центрифугированных фибробетонов выше, чем у вибрированных, при всех исследованных типах фибровых волокон. Наибольший прирост коэффициента конструктивного качества у центрифугированных фибробетонов по сравнению с вибрированными выявлен в случае дисперсного армирования стальной фиброй. Это можно объяснить более высокой прочностью центрифугированного фибробетона при приблизительно равной средней плотности с вибрированным фибробетоном, а также более полное проявление в первом армирующего эффекта фибрового волокна.

### Литература

1. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // Наукоедение, 2017, № 4 URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).
  2. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор состава центрифугированного бетона на тяжелых заполнителях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 52-57.
  3. Ахвердов И.Н. Вопросы теории центробежного формования и уплотнения бетонной смеси. – Республиканское научно – техническое совещание: Технология формования железобетонных изделий, 1979. С. 3-12.
  4. Сапожников М.Я. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. М.: Машгиз, 1962. 522 с.
  5. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Стельмах С.А. Изучение опыта регулирования свойств строительных изделий и конструкций путем направленного формирования их вариатропной структуры // Инженерный вестник Дона, 2017, № 3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313).
-

6. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Сердюков К.В., Пестриков М.М., Яновская А.В. Влияние некоторых характеристик применяемого крупного заполнителя на свойства тяжелого бетона, предназначенного для изготовления центрифугированных изделий и конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 15-20.

7. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Холодняк М.Г., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Совершенствование режимов формования центрифугированных бетонных изделий кольцеобразного сечения // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832.

8. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Исследование различных типов центрифуг и режимов уплотнения бетонных смесей для изготовления образцов кольцевого сечения // Вестник СевКавГТИ. 2017. Вып. №3 (30). С. 134-137.

9. Бычков М.В., Удодов С.А. Деформационные свойства легкого конструкционного самоуплотняющегося бетона // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. № 2 (29). С. 71-75.

10. Саламанова М.Ш., Исмаилова З.Х., Бисултанов Р.Г., Арцаева М.С. Влияние композиционного вяжущего на формирование физико-механических и эксплуатационных свойств фибробетона // Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Ю.М.: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 592-598.

11. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длинномерных центрифугированных конструкций : дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.

12. Корянова Ю.И., Несветаев Г.В. Влияние условий твердения бетона с двухстадийным расширением на деформативно-прочностные показатели // Наукоеведение, Том 7, № 5(30), 2015 URL: [naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf).

13. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Осадченко С.А. Анализ зарубежного опыта развития технологии виброцентрифугированных строительных конструкций и изделий из бетона // Вестник Евразийской науки, 2018, №3 URL: [esj.today/PDF/58SAVN318.pdf](http://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf).

14. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки, 2018, №4 URL: [esj.today/PDF/07SAVN418.pdf](http://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf).

15. Батаев Д.К.-С., Сайдумов М.С., Муртазаева Т.С.-А., Имагамаева Б.Б. Перспективы использования модифицированных высококачественных бетонов в современном строительстве // Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова»: ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, 2015. С. 485-492.

16. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М., Халюшев А.К. Влияние технологии производства на структурообразование и свойства бетона виброцентрифугированных колонн // Строительство и архитектура (2017). Том 5. Выпуск 4 (17). С. 224-228.

17. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Маилян Л.Р., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Изучение характера механизма дрейфа компонентов бетонной смеси при производстве центрифугированных колонн вариатропной структуры на

---



примере физической модели движения заполнителей // Строительство и архитектура (2017). Том 5. Выпуск 4 (17). С. 229-233.

18. Попов А.Н. Производство и применение железобетонных и бетонных труб для напорных и безнапорных трубопроводов. – М., 1975. С. 149.

19. Петров В.П. Технология и свойства центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем для стоек опор контактной сети : дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1983. 175 с.

20. Раджан Сувал Свойства центрифугированного бетона и совершенствование проектирования центрифугированных железобетонных стоек опор ЛЭП : дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1997. 267 с.

21. Pooya Alaei, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements // Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.

22. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.

23. Явруян Х.С., Холодняк М.Г., Шуйский А.И., Стельмах С.А., Щербань Е.М. Влияние некоторых рецептурно-технологических факторов на свойства неавтоклавного газобетона // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3431.

24. Ахвердов И. Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. М.: Стройиздат, 1967. 164 с.

### References

1. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Holodnyak M.G., Shcherban' E.M. naukovedenie, Vol. 9, №4 (2017) URL: naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf.

2. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Holodnyak M.G., Shcherban' E.M. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. № 10. pp. 52-57.

---



3. Ahverdov I.N. Voprosy teorii centrobezhnogo formovaniya i uplotneniya betonnoy smesi [Questions of the theory of centrifugal molding and compacting of concrete mixes]. Respublikanskoe nauchno – tehicheskoe soveshanie: Tehnologiya formovaniya zhelezobetonnyh izdeliy, 1979. pp. 3-12.

4. Sapozhnikov M. Ya. Mekhanicheskoe oborudovanie dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov i izdeliy [Mechanical equipment for the production of building materials and products]. M.: Mashgiz, 1962. 522 p.

5. Nazhuev M.P., Yanovskaya A.V., Kholodnyak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Stel'makh S.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313).

6. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Serdyukov K.V., Pestrikov M.M., Yanovskaya A.V. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, №10. pp. 15-20.

7. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M., Nazhuev M.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, № 2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832).

8. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M. Scientific bulletin SevKavGTI. 2017. №3 (30). pp. 134-137.

9. Bychkov M.V., Udodov S.A. Herald of Dagestan state technical university. Technical sciences. 2013. № 2 (29). pp. 71-75.

10. Salamanova M.Sh., Ismailova Z.Kh., Bisultanov R.G., Arcaeva M.S. Effektivnye stroitel'nye kompozity. Nauchno-prakticheskaya konferenciya k 85-letiyu zasluzhennogo deyatelya nauki RF, akademika RAASN, doktora tekhnicheskikh nauk Bazhenova Yu.M. (Effective building composites. Scientific-practical conference on the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences Bazhenov Yu.M.) Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2015, pp. 592-598.

---



11. Romanenko E.Yu. Vysokoprochnye betony s mineral'nymi poristymi i voloknistymi dobavkami dlya izgotovleniya dlinnomernyh centrifugirovannykh konstruktsiy [High-strength concretes with mineral porous and fibrous additives for the manufacture of long-length centrifuged structures]: dis.... kand. tehn. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1989. 179 p.

12. Koryanova Yu.I., Nesvetaev G.V. Naukovedenie, Vol. 7, № 5(30), 2015 URL: [naukovedenie.ru/PDF/129TVN515](http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515).

13. Nazhuev M.P., Yanovskaya A.V., Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Osadchenko S.A. The Eurasian Scientific Journal, 2018, № 3 URL: [esj.today/PDF/58SAVN318.pdf](http://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf).

14. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Khalyushev A.K. Shcherban' E.M., Nazhuev M.P. The Eurasian Scientific Journal, 2018, № 4 URL: [esj.today/PDF/07SAVN418.pdf](http://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf).

15. Bataev D.K.-S., Saydumov M.S., Murtazaeva T.S-A., Imagamaeva B.B. Sovremennye stroitel'nye materialy, tekhnologii i konstruktsii. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashennoy 95-letiyu FGBOU VPO "GGNTU im. akad. M.D. Millionshchikova" (Modern building materials, technology and construction. Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of FS-FEIHE "Millionshchikov Grozny State Oil Technical University": MGSOTU, 2015, pp. 485-492.

16. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M., Khalyushev A.K. Construction and Architecture (2017) Vol. 5. Issue 4 (17). pp. 224-228.

17. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Mailyan L.R., Shcherban' E.M., Nazhuev M.P. Construction and Architecture (2017) Vol. 5. Issue 4 (17). pp. 229-233.

18. Popov A.N. Proizvodstvo i primenenie zhelezobetonnyh i betonnyh trub dlya napornyyh i beznapornyyh truboprovodov [Manufacture and application of reinforced concrete and concrete pipes for pressure and non-pressure pipelines]. M., 1975. P. 149.

19. Petrov V.P. Tehnologiya i svoystva tsentrifugirovannogo betona s kombinirovannym zapolnitelem dlya stoek opor kontaktnoy seti [Technology and properties of centrifuged concrete with a combined aggregate for supports of the contact network]: dis.... kand. tehn. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1983. 175 p.

20. Radzhan Suval Svoystva tsentrifugirovannogo betona i sovershenstvovanie proektirovaniya tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh stoek opor LEP [Properties of centrifuged concrete and perfection of design of centrifuged reinforced concrete pillars of power transmission lines]: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1997. 267 p.

21. Pooya Alae, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements. Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.

22. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.

23. Yavruyan Kh.S., Holodnyak M.G., Shuyskiy A.I., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3431.

24. Akhverdov I.N. Zhelezobetonnye napornye tsentrifugirovannye trubyy [Reinforced concrete centrifuged tubes]. M.: Stroyizdat, 1967. 164 p.