

**Изучение изменения состава бетонной смеси
и кинетики прочности бетона при центрифугировании
на примере опыта производства опор ЛЭП
на предприятиях Социалистической Республики Вьетнам**

Г.В. Несветаев¹, М.П. Нажуев, Ву Ле Куен²

¹*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

²*Ханойский Архитектурный Университет, Вьетнам*

Аннотация: Исследован опыт применения центрифугирования как способа формирования и уплотнения открыло новые перспективы производства высокоэффективных железобетонных изделий. Проанализирован опыт производства центрифугированных опор ЛЭП на одном из предприятий Социалистической Республики Вьетнам. Выполнены исследования, направленные на изучение изменения состава смеси при центрифугировании и кинетику прочности центрифугированного бетона. Изучена зависимость предела прочности центрифугированного бетона на сжатие от величины В/Ц после ТВО и в возрасте 3 – 7 сут. Сделаны выводы по вопросу корректировки известных количественных закономерностей изменения прочности вибрированных бетонов от величины В/Ц и пористости с учетом неоднородности структуры центрифугированного бетона по сечению.

Ключевые слова: центрифугирование, тяжелый бетон, бетонная смесь, опоры ЛЭП, добавки в бетон, предприятия по производству железобетонных изделий.

Применение центрифугирования как способа формирования и уплотнения открыло новые перспективы производства высокоэффективных железобетонных изделий [1, 2]. Благодаря ряду очевидных достоинств, центрифугирование получило широкое распространение при производстве труб, опор ЛЭП, колонн [3, 4]. Усилия исследователей на протяжении многих лет были направлены на совершенствование составов бетонных смесей для центрифугирования, исследование процессов формирования структуры бетона, развитие методов формирования и уплотнения с применением, в частности, повторного центрифугирования и других [5-7]. Современные суперпластифицирующие добавки, позволяющие в широком диапазоне регулировать формовочные свойства бетонных смесей, открывают новые возможности в совершенствовании технологии центрифугированных изделий.

На одном из предприятий Социалистической Республики Вьетнам (СРВ) производятся центрифугированные опоры (рис. 1). Проектный класс бетона С80/88. Твердение осуществляется при тепловлажностной обработке (пропаривание – далее ТВО) в течение 5 – 6 час при температуре 75 – 80°С. Применяется добавка Sika 8550. Портландцемент РС 40 завода Бут Шон. Расчетный состав бетонной смеси (кг/м³): ПЦ = 440; Щ (10-20) = 875; Щ (5-10) = 375; зола = 35,2; В = 113; добавка Sika 8550 = 4,62.



Рис. 1. – Цех по производству центрифугированных опор и центрифугированный образец для определения предела прочности

С целью замены добавки Sika 8550 на суперпластифицирующую добавку PR-1 производства СРВ выполнены исследования, направленные на изучение изменения состава смеси при центрифугировании и кинетику прочности центрифугированного бетона. Согласно ГОСТ 22687.0, п. 4.2., прочность центрифугированного бетона по результатам испытаний вибрированных образцов-кубов с ребром 100 мм принимают с коэффициентом перехода, который определяется экспериментально, причем

допускается на первых этапах использовать коэффициент 1,2. Для определения предела прочности центрифугированного бетона на предприятии используются образцы, представленные на рис. 1.

Изучение зависимости предела прочности центрифугированного бетона на сжатие от величины В/Ц после ТВО и в возрасте 3 – 7 сут показало, что предел прочности центрифугированного бетона в общем подчиняется известной зависимости от величины В/Ц, но при этом нарастание прочности после ТВО во времени происходит не очень выражено, что подтверждают данные рис. 2, из которого очевидны в ряде случаев даже некоторые сбросы прочности.

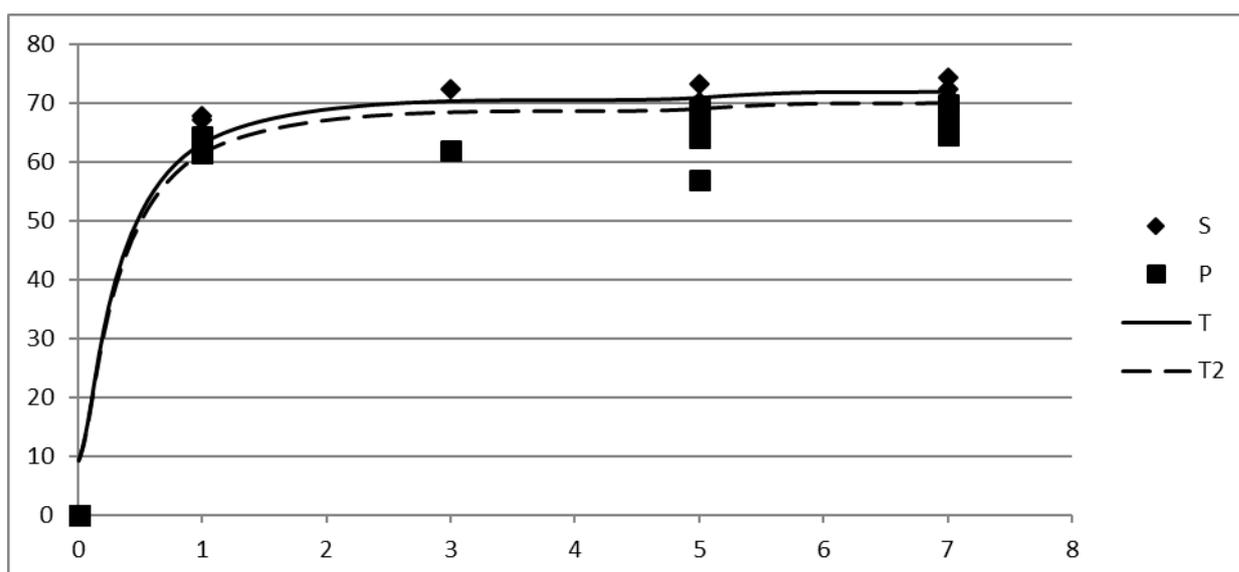


Рис. 2. – Нарастание прочности центрифугированного бетона во времени
 s – суперпластификатор Sika 8550; p – суперпластификатор PR1; T – по формуле (1)

$$R_t = R_{28} \cdot \exp\left(k \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)\right) \quad [8] \quad (1)$$

при $R_{28} = 75$, $k = 0,04$; T_2 –при $R_{28} = 73$, $k = 0,04$.

На рис. 3 представлена зависимость предела прочности центрифугированного бетона от величины В/Ц в сопоставлении с данными [9-11].

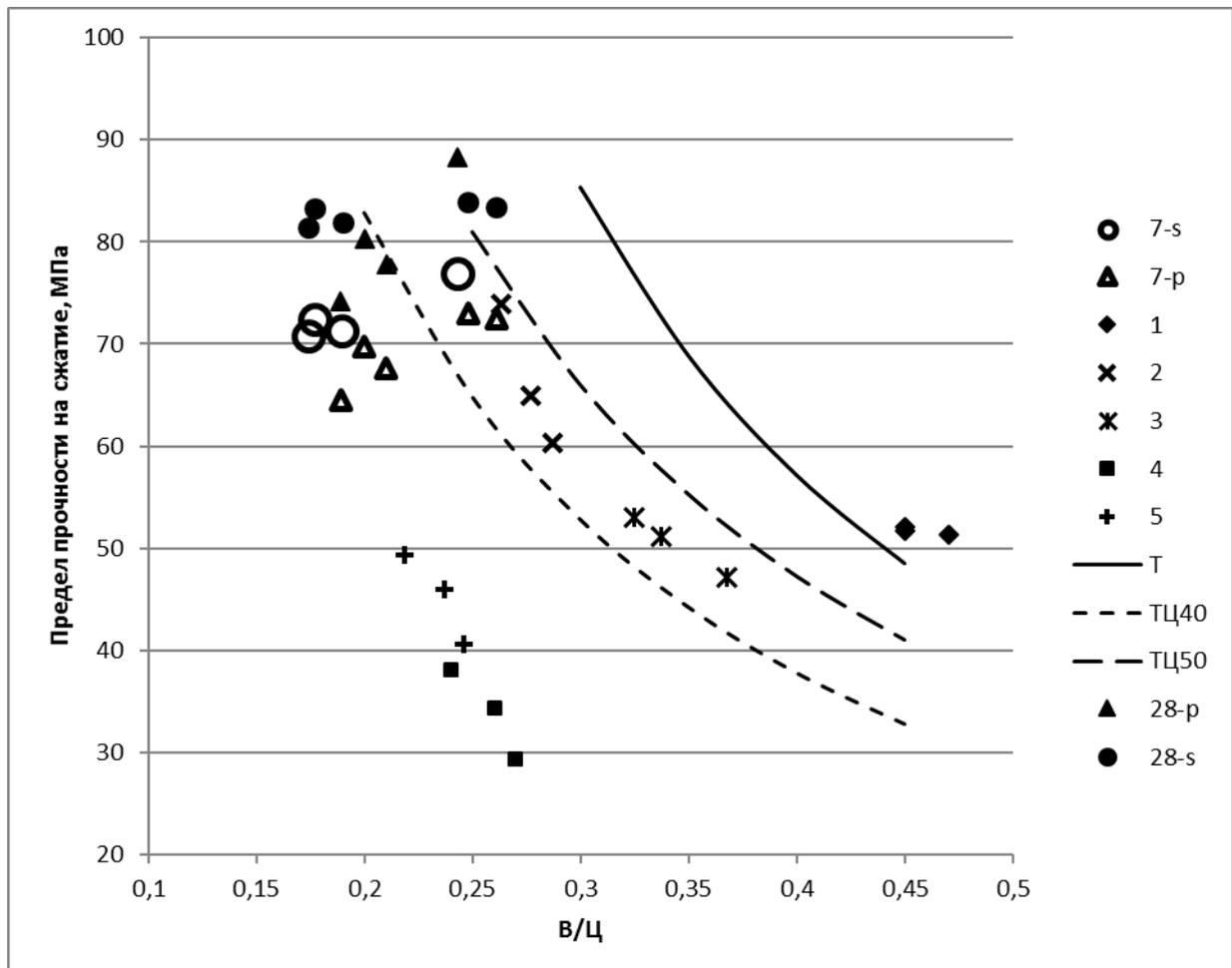


Рис. 3 Зависимость предела прочности центрифугированного бетона на сжатие от величины В/Ц

1,4 - по данным [9,11] вибрированный бетон; 2,5 - по данным [9,11] центрифугированный бетон; 7s, 7р – значения прочности с добавкой Sika 8550 и PR1 в возрасте 7 сут; 28s, 28р – расчетные значения прочности с добавкой Sika 8550 и PR1 в возрасте 28 сут; Т – по формуле $R = \frac{\alpha \cdot R_{ц}}{(\frac{W}{C})^{1,89}}$ [8]

при $\alpha=0,32$; $R_{Ц}=50$; ТЦ40 - по формуле $R = \frac{\alpha \cdot R_{Ц}}{\left(\frac{V}{C}\right)^{1,89}} - 0,18 \cdot R_{Ц}$ [8] при $\alpha=0,45$,

$R_{Ц}=40$; ТЦ50 - при $\alpha=0,45$, $R_{Ц}=50$

Очевидно, что:

- значения, полученные в различных исследованиях, качественно полностью подтверждают зависимость предела прочности центрифугированного бетона от величины В/Ц (остаточное значение), при этом расхождения в количественном плане могут быть весьма значительными, что может быть связано с различной активностью использованных цементов;

- прослеживается тенденция к некоторому «недобору» прочности при очень низких значениях В/Ц.

При центрифугировании количество отжатой воды из бетонных смесей с добавками Sika 8550 и PR1 составило от 25 до 32% (по данным [9] из смеси без суперпластификаторов удаляется при центрифугировании до 40% воды, при этом рост прочности центрифугированного бетона относительно вибрированного составил от 28% для среднего слоя и до 42% для внешнего, а прочность внутреннего слоя и вибрированного бетона были практически равны). Из формулы $R = \frac{\alpha \cdot R_{Ц}}{\left(\frac{V}{C}\right)^{1,89}}$ следует, что при снижении

начальной величины В/Ц на 40% предел прочности должен повысится примерно в 2 раза. В то же время, согласно [9], снижение пористости внешнего слоя центрифугированного бетона относительно вибрированного бетона составило порядка 3,5%, что должно привести к росту прочности примерно на 15 – 20%. У центрифугированного бетона дополнительно следует учитывать различную концентрацию цементного камня в различных слоях сечения.

Как известно, пористость бетона, при прочих равных условиях, определяется пористостью цементного камня, которая определяется величиной В/Ц и собственными деформациями цементного камня в процессе твердения [12]. При измерении скорости распространения ультразвука на внешней и внутренней поверхностях цилиндрического образца при поверхностном прозвучивании получены соотношения скоростей ультразвука в пределах от 0,82 до 0,85 (внутренняя/внешняя), что свидетельствует о соотношении модулей упругости [8] в пределах от 0,9 до 0,96 с учетом возможного изменения концентрации крупного заполнителя во внутренних и внешних слоях. Согласно [12], в этом случае различие пористости может составлять от 4 до 5,5%, а различие в пределах прочности на сжатие [8] составлять от 30 до 48%, что коррелирует с данными [9].

В табл. 1 представлены расчетные значения пористости центрифугированного бетона по слоям в сравнении с экспериментальными данными [9].

Таблица №1

Оценка пористости центрифугированного бетона

| Слой | В/Ц | $\Pi_{ЦК}^1$ | $V_{ЦК}$ | Пористость бетона | |
|---------------------------------|-------|--------------|----------|---------------------------|------------|
| | | | | расчетная | измеренная |
| Внутренний [9] | 0,287 | 0,187 | 0,307 | $\frac{0,057^2}{0,158^3}$ | 0,162 |
| Средний [9] | 0,277 | 0,178 | 0,295 | $\frac{0,049^2}{0,14^3}$ | 0,144 |
| Внешний [9] | 0,263 | 0,165 | 0,282 | $\frac{0,043^2}{0,127^3}$ | 0,134 |
| Образец в целом, данные авторов | 0,187 | 0,094 | 0,245 | $\frac{0,023^3}{0,064^3}$ | 0,068 |

Примечание: 1 – по формуле $\Pi_{ЦК} = 0,93 \cdot \frac{В}{Ц} - 0,08$ [12]; 2 – по формуле $\Pi_{Б} = \Pi_{ЦК} \cdot V_{ЦК}$; 3 – по формуле $\Pi_{Б} = 1 - \frac{\rho_{Б}}{2720}$ ($\rho_{Б}$ – средняя плотность бетона, кг/м³)

Поскольку по данным таблицы №1 расхождение между измеренным и расчетным по формуле $\Pi_B = 1 - \frac{\rho_E}{2720}$ значениями пористости незначительно, а между измеренным и расчетным по формуле $\Pi_B = \Pi_{ЦК} \cdot V_{ЦК}$ существенно, особенно для данных [9], очевидно, что значительную часть пористости центрифугированного бетона может составлять технологическая пористость [12], например, вследствие недостаточного уплотнения, неоптимальных условий твердения, нерациональной концентрации крупного заполнителя.

Таким образом, можно констатировать, что известные количественные закономерности изменения прочности вибрированных бетонов от величины В/Ц либо пористости для центрифугированных бетонов требуют корректировки с учетом неоднородности структуры центрифугированного бетона по сечению.

Литература

1. Штайрман Ю.Я. Центрифугированный бетон.— Тифлис: Изд-во «Техника для Шрома», 1933. 107 с.
2. Михельсон Е.Э. Опоры из центрифугированного железобетона для электрических воздушных линий. Тбилиси: Тбилисский научно-исследовательский институт сооружений и гидроэнергетики, 1958. 371 с.
3. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. М.: Госстройиздат, 1967. 164 с.
4. Дубинина В.Г. Разработка оптимальных параметров центрифугирования железобетонных безнапорных труб: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Нижний Тагил, 2002. 150 с.



5. Сувал Р., Щуцкий В.Л. Влияние структурной неоднородности центрифугированного бетона на его прочность в изделии // Сборник, СевКавНИПИагропром. Ростов-на-Дону, 1995. С. 60-65.

6. 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.

7. 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.

8. Несветаев Г.В. Цементные бетоны. Бетоны: учебно-справочное пособие. 2-е изд., перераб и доп. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. 381 с

9. Щуцкий В.Л., Гриценко М.Ю., Дедух Д.А. Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона // Инженерный вестник Дона, 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3000

10. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Оптимизация технологических параметров для изготовления центрифугированных бетонных образцов кольцевого сечения // Строительство и архитектура (2018), Том 6, Выпуск 1 (18). С. 5-10.

11. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. О пористости цементного камня с учетом его собственных деформаций при твердении // Бетон и железобетон. 2013. № 1. С. 12-15.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

References

1. Shtayerman Yu.Ya. Centrifugirovanny beton [Centrifuged concrete]. Tiflis: Izdatel'stvo "Tekhnika dlya Shroma", 1933. 107 p.

2. Mikhel'son E.E. Opory iz tsentrifugirovannogo zhelezobetona dlya elektricheskikh vozdushnykh liniy [Supports from centrifuged reinforced concrete for electric overhead lines]. Tbilisi: Tbilisskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sooruzheniy i gidroenergetiki, 1958. 371 p.

3. Akhverdov I.N. Zhelezobetonnye napornye tsentrifugirovannye trubyy [Reinforced concrete centrifuged pipes]. M.: Gosstroyizdat, 1967. 164 p.

4. Dubinina V.G. Razrabotka optimal'nykh parametrov tsentrifugirovaniya zhelezobetonnykh beznapornykh trub [Development of optimal parameters for centrifugation of reinforced concrete non-pressure pipes]: dis.... kand. tehn. nauk: 05.23.05. Nizhniy Tagil, 2002. 150 p.

5. Suval R., Shchutskiy V.L. Sbornik, SevKavNIPIagroprom. Rostov-on-Don, 1995. pp. 60-65.

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

7. 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.



8. Nesvetaev G.V. Tsementnye betony [Cement concretes]. Betony: uchebno-spravochnoe posobie. 2-e izd., pererab. i dop. Rostov-on-Don: Feniks, 2013. 381 p
9. Shchutskiy V.L., Gritsenko M.Yu., Dedukh D.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3000.
10. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhuev M.P. Construction and Architecture (2018) Vol. 6. Issue 1 (18). pp. 5-10.
11. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Beton i zhelezobeton. 2013. №1. pp. 12-15.
12. Nazhuev M.P., Yanovskaya A.V., Kholodniak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban E.M., Stelmakh S.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313.
13. Pooya Alae, Bing Li. Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.
14. 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.