

## Совершенствование режимов формования центрифугированных бетонных изделий кольцеобразного сечения

*Л.Р. Маилян, С.А. Стельмах, А.К. Халюшев,*

*М.Г. Холодняк, Е.М. Щербань, М.П. Назжув*

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

**Аннотация:** Проведен обзор литературы, касающейся вопросов формования центрифугированных бетонных изделий. Изучены особенности центрифугирования бетона, в частности изготовления центрифугированных труб. Рассмотрены основные параметры и показатели качества бетона и самих центрифугированных труб. Описан традиционный режим формования безнапорных труб. Приведены расчетные формулы параметров процесса центрифугирования, их графические зависимости. На основании полученных расчетных данных представлен вывод о том, что традиционные режимы формования безнапорных труб характеризуются скоростью вращения формы от 82 до 300 об/мин на стадиях загрузки и распределения бетонной смеси. При этом на стадии уплотнения регулирование скорости вращения формы изменяется в весьма широких пределах и во многом зависит от вязкости бетонной смеси и прессующего давления: от 825 до 4400 об/мин для бетонных труб диаметром от 100 до 300 мм. Моделирование параметров режима формования при центрифугировании изделий кольцеобразного сечения на лабораторной установке при максимальном давлении прессования  $p = 2,16 \text{ кг/см}^2$ , позволит уточнить полученные данные и изучить их влияние на вариативность структуры бетона.

**Ключевые слова:** центробежная сила, параметры центрифугирования, загрузочные числа оборотов формы, распределительные числа оборотов формы, уплотнительные числа оборотов формы, прессующее давление, продолжительность центрифугирования, изделия кольцеобразного сечения.

В практике отечественного и зарубежного инфраструктурного строительства накоплен большой опыт производства и применения центрифугированных труб из тяжелого бетона [1-8].

Необходимо, чтобы стенки труб обеспечивали водонепроницаемость грунтовых вод (инфильтрацию) в канализационную сеть и сточных вод в окружающую среду, сопротивляемость при движении тяжелых частиц по дну канала механическим воздействиям, стойкость к разрушению от химического воздействия сточных вод с содержанием кислот и щелочей, действия блуждающих токов [5].

Центрифугирование бетона основывается на способности бетонной смеси внутри вращающейся формы стремиться к периферии формы под действием центробежных сил и уплотняться. Трубы, изготовленные центрифугированием, характеризуются малыми водопроницаемостью и водопоглощением, повышенной стойкостью к агрессивным воздействиям. С помощью центрифугирования можно изготавливать бетонные трубы с большой длиной и стенками различной толщины.

Толщина стенок изготавливаемых труб выбирается, учитывая области их применения, нормативные нагрузки (по глубине заложения трубопровода, типу грунтовых засыпок, типу оснований, коэффициенту запаса и т.д.). Как правило, стенки труб диаметром 100-500 мм имеют толщину  $1/10 \cdot D + (20-30\text{мм})$ , диаметром 300-500 мм –  $1/10 \cdot D + (10-20\text{мм})$ , диаметром 600-1200 мм –  $1/10 \cdot D - (10-20\text{мм})$ .

Системы водоснабжения и канализации особо важны в инфраструктуре городов. Сети канализации, которые укладывают в различающихся гидрогеологических условиях, зачастую на большой глубине, необходимо устраивать из материалов, обеспечивающих длительный срок их службы, надежность эксплуатации, простоту и экономичность строительства [5].

Требования к бетону таких труб согласно нормативной документации: по прочности на сжатие класс – не менее В25, водонепроницаемость – W4, водопоглощение не должно быть более 6% по массе.

Практика инфраструктурного строительства показывает, что в борьбе с коррозией бетона стенок труб любого вида главным средством является, помимо тщательного подбора состава бетона достижение максимальной плотности структуры, получить которую возможно лишь правильно выбрав способ и режим формования труб [5]. Поэтому особый научный интерес вызывает моделирование и изучение путей совершенствования

---

технологического режима за счет оптимизации параметров центрифугирования бетонной смеси.

Для традиционного режима формования безнапорных труб выделяют основные этапы и стадии, характеризующиеся скоростью вращения формы, а также временем ее вращения:

- разгон формы от нуля до загрузочных чисел оборотов формы;
- вращение формы на загрузочной скорости;
- разгон формы от загрузочных до распределительных чисел оборотов формы;
- вращение формы на распределительной скорости;
- разгон формы от распределительных чисел оборотов формы до уплотнительных;
- вращение формы в течение расчетного времени центрифугирования на уплотнительной скорости;
- замедление скорости вращения формы от уплотнительных чисел оборотов формы до нуля.

При загрузке бетонной смеси число оборотов формы в случае формования ременными центрифугами рекомендуется определять по формуле:

$$n_{\text{загр}} = 370 \cdot \sqrt{\frac{(R^2 - r^2)}{(R^3 - r^3)}} \quad (1)$$

где  $R, r$  – соответственно наружный и внутренний радиусы трубы, м [5].

Как правило, загрузочные числа оборотов формы при формовании изделий колеблются в пределах 80-150, больший диаметр формы характеризуется меньшим числом оборотов.

На основании данных лаборатории ТНИСГЭИ Михельсон Е.Э. предложил расчетную формулу, исходя из предположения, что величина центробежной силы  $C_0$  при вращении бетонной массы превышает вес

---

изделия  $P$  в 3,5-3,7 раза. Такая зависимость определена при В/Ц 0,45-0,5, марке цемента 400-500 с помощью формулы:

$$n_{\text{загр}} = 700 \cdot \sqrt{\frac{(R^2 - r^2)}{(R^2 - r^2)}} \text{ об/мин} \quad (2)$$

где  $R, r$  – наружный, внутренний радиусы трубы, см.

В таблице №1 приведены основные характеристики получаемых изделий и вращения трубы.

Таблица №1

Характеристика параметров труб при центрифугировании  
на стадии загрузки бетонной смеси

| Диаметр<br>трубы,<br>см | Толщина<br>стенки<br>трубы<br>(1/10·D), см | Внутренний<br>радиус<br>трубы (r),<br>см | Наружный<br>радиус<br>трубы (R),<br>см | Количество оборотов при<br>загрузке ( $n_{\text{загр}}$ ), об/мин |             |
|-------------------------|--|--|--|---|-------------|
|                         |  |  |  | формула (1)   | формула (2) |
| 10,0                    | 1,0  | 4,0                                      | 5,0                                    | 142,1   | 268,87      |
| 12,5                    | 1,25                                       | 5,0                                      | 6,25                                   | 127,1   | 240,46      |
| 15,0                    | 1,50                                       | 6,0                                      | 7,5                                    | 116,0   | 219,53      |
| 17,5                    | 1,75                                       | 7,0                                      | 8,75                                   | 107,4   | 203,25      |
| 20,0                    | 2,00                                       | 8,0                                      | 10,0                                   | 100,5   | 190,13      |
| 22,5                    | 2,25                                       | 9,0                                      | 11,25                                  | 94,7  | 179,25      |
| 25,0                    | 2,50                                       | 10,0                                     | 12,5                                   | 89,9  | 170,05      |
| 27,5                    | 2,75                                       | 11,0                                     | 13,75                                  | 85,7  | 162,14      |
| 30,0                    | 3,00                                       | 12,0                                     | 15,0                                   | 82,0  | 155,24      |

На рис. 1 представлена графическая зависимость изменения количества оборотов от диаметра трубы.

Попов А.Н. в работе [5] рекомендует определять число оборотов форм при распределении по формуле:

$$n_{\text{рас}} = 30 \cdot K \cdot \sqrt{\frac{g/r_1}{p}} = \frac{45}{\sqrt{r_1}} \text{ об/мин} \quad (3)$$

где  $K$  – практический коэффициент запаса, учитывающий вибрацию бетонной смеси;  $K = 1,4-1,45$ ;  $r_1$  – внутренний радиус железобетонной трубы, м;  $g$  – ускорение силы тяжести.

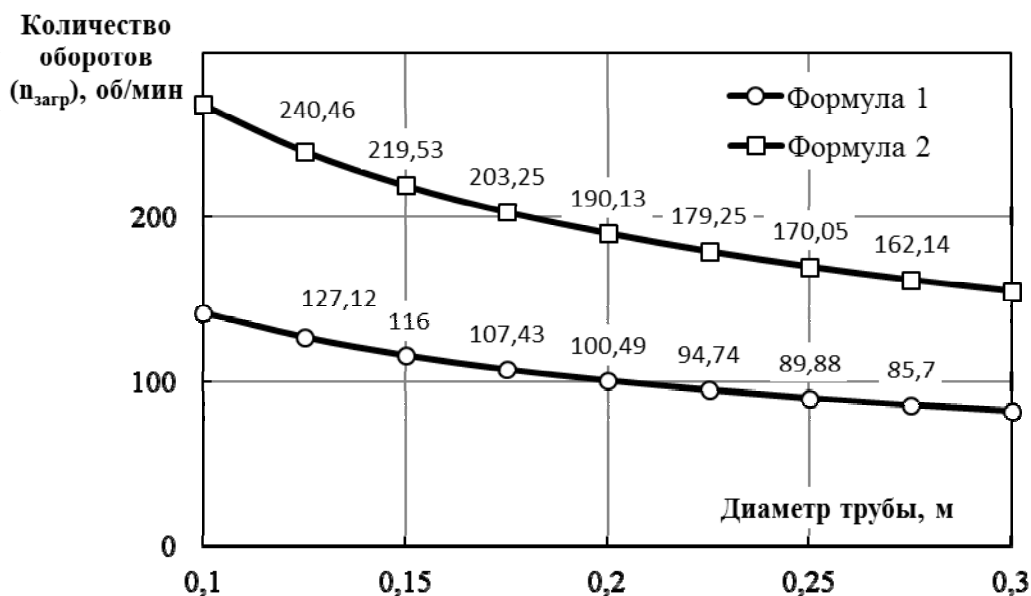


Рис. 1. – Зависимость изменения количества оборотов при загрузочной скорости от диаметра трубы

Для предотвращения обрушения бетонной смеси и сдвига смазки в стадии распределения, этот период длится 50-100 с при частоте вращения формы 100-350 об/мин в зависимости от диаметра формуемой трубы. Бетонная смесь при этом достигает предварительного уплотнения под воздействием прессующего давления, равного примерно 0,005-0,01 МПа [5].

С учетом вязкости бетонной смеси:

$$n_{рас} = \frac{12}{\sqrt{r_1}} - \frac{54}{\sqrt{r_1}}, \text{ об/мин} \quad (4)$$

Необходимое число оборотов формы для равномерного распределения смеси при формировании на ременных центрифугах рекомендуется определять по формуле, предложенной И.Н. Ахвердовым в работе [5].

$$n_{\text{рас}} = 3268 \cdot \sqrt{R / (R^2 - r^2)}, \text{ об/мин} \quad (5)$$

где  $R, r$  – соответственно наружный и внутренний радиусы формы.

Для расчетов распределительных чисел оборотов форм можно использовать формулы (4) и (5), числовой коэффициент в них можно повысить до 60, что согласуется с данными эксперимента [5]. Формула, таким образом, принимает вид:

$$n_{\text{рас}} = \frac{60}{\sqrt{r_1}}, \text{ об/мин} \quad (6)$$

На практике распределительные числа оборотов форм принимаются в пределах от 120 до 300 об/мин в зависимости от диаметра формы (таблица №2, рис. 2).

Таблица №2

Характеристика параметров труб при центрифугировании  
на стадии распределения бетонной смеси

| Диаметр трубы, см | Толщина стенки трубы (1/10·D), см | Внутренний радиус трубы (r <sub>1</sub> ), см | Наружный радиус трубы (r <sub>2</sub> ), см | Количество оборотов при распределении (n <sub>рас</sub> ), об/мин |             |
|-------------------|-----------------------------------|---|---|---|-------------|
|                   |                                   |   |   | формула (3)   | формула (6) |
| 10,0              | 1,0                               | 4,0   | 5,0   | 225   | 300         |
| 12,5              | 1,25                              | 5,0   | 6,25  | 201,3   | 268,3       |
| 15,0              | 1,50                              | 6,0   | 7,5   | 183,7   | 244,9       |
| 17,5              | 1,75                              | 7,0   | 8,75  | 170,0   | 226,8       |
| 20,0              | 2,00                              | 8,0   | 10,0  | 159,1   | 212,1       |
| 22,5              | 2,25                              | 9,0   | 11,25                                       | 150   | 200         |
| 25,0              | 2,50                              | 10,0  | 12,5  | 142,3   | 189,7       |
| 27,5              | 2,75                              | 11,0  | 13,75                                       | 135,7   | 180,9       |
| 30,0              | 3,00                              | 12,0  | 15,0  | 129,9   | 173,2       |

Окончательное уплотнение стенок труб центрифугированием происходит при воздействии максимального прессующего давления на стенки труб, соответствующего скорости вращения формы на уплотнительных числах оборотов формы (рисунок 3). Основными

параметрами центрифугирования в этот период являются уплотнительные числа оборотов формы и продолжительность центрифугирования.

За оптимальное давление принималось такое, при котором наступает стабилизация бетона по пористости, при этом она определялась как отношение величины поверхности образца к объему, а за оптимальное время уплотнения принималась величина, при которой наступает стабилизация массы [5].

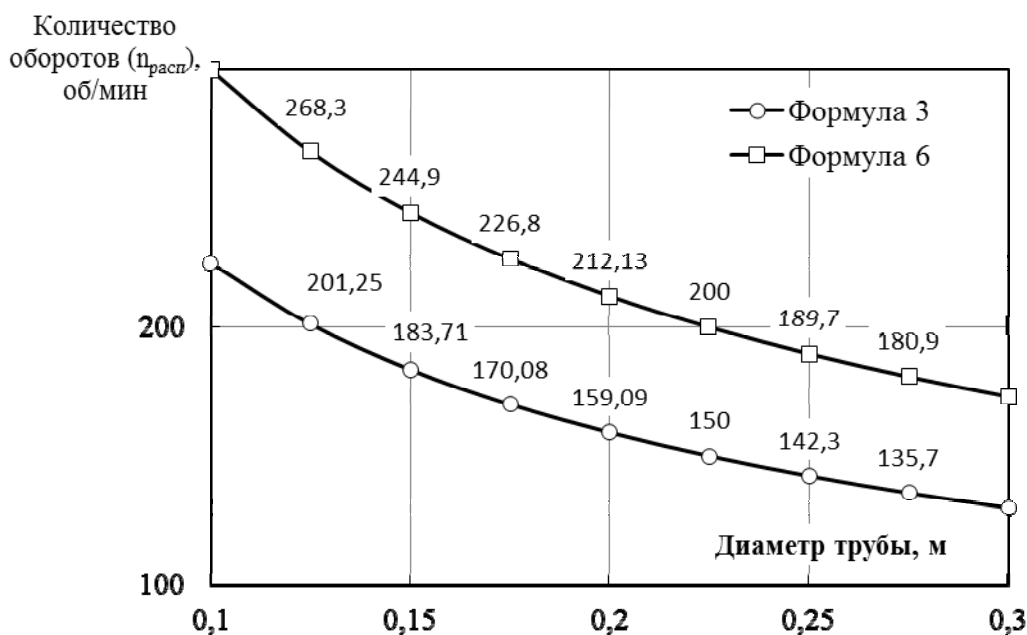


Рис. 2. – Зависимость изменения количества оборотов при распределительной скорости от диаметра трубы

Рекомендации по продолжительности центрифугирования, как и относительно максимальных уплотнительных чисел оборотов формы, весьма противоречивы. Поэтому при подсчете чисел оборотов формы при уплотнении использовали теоретическую формулу [5], которая максимально приближена к практическим результатам:

$$n_{\text{упл}} = 10375 \cdot \sqrt{\frac{r_2 \cdot \rho}{(r_2^3 - r_1^3)}} \text{ об/мин} \quad (7)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – внутренний и наружный радиусы трубчатой конструкции, см;



$p$  – давление на бетонную смесь ( $p = 0,7$  кг/см<sup>2</sup>;  $p = 1,45$  кг/см<sup>2</sup>;  $p = 2,16$  кг/см<sup>2</sup>).

Данные о количестве оборотов при уплотнении в зависимости от давления на бетонную смесь приведены в таблице №3.

По расчетной формуле (1) вычислили количество оборотов формы на стадии уплотнения  $n_{упл}$  (рис. 3) центрифугированных изделий реализуемых на производстве ( $p = 0,7$  кг/см<sup>2</sup>;  $p = 1,45$  кг/см<sup>2</sup>) и с помощью лабораторной установки ( $p = 2,16$  кг/см<sup>2</sup>).

Таблица №3

Характеристика параметров труб при центрифугировании  
на стадии уплотнения бетонной смеси



| Диаметр трубы, см | Толщина стенки трубы (1/10-D), см | Внутренний радиус трубы ( $r_1$ ), см | Наружный радиус трубы ( $r_2$ ), см | Количество оборотов при уплотнении ( $n_{упл}$ ), об/мин |                              |                              |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|
|                   |                                   |                                       |                                     | $p=0,7$ кгс/см <sup>2</sup>                              | $p=1,45$ кгс/см <sup>2</sup> | $p=2,16$ кгс/см <sup>2</sup> |
| 10,0              | 1,0                               | 4,0                                   | 5,0                                 | 2485,2   | 3576,77                      | 4365,51                      |
| 12,5              | 1,25                              | 5,0                                   | 6,25                                | 1988,2   | 2861,35                      | 3492,41                      |
| 15,0              | 1,50                              | 6,0                                   | 7,5                                 | 1656,8   | 2384,55                      | 2910,34                      |
| 17,5              | 1,75                              | 7,0                                   | 8,75                                | 1420,1   | 2043,81                      | 2494,57                      |
| 20,0              | 2,00                              | 8,0                                   | 10,0                                | 1242,59  | 1788,39                      | 2182,75                      |
| 22,5              | 2,25                              | 9,0                                   | 11,25                               | 1104,5   | 1589,68                      | 1940,23                      |
| 25,0              | 2,50                              | 10,0                                  | 12,5                                | 994,07   | 1430,72                      | 1746,2                       |
| 27,5              | 2,75                              | 11,0                                  | 13,75                               | 903,7  | 1300,64                      | 1587,46                      |
| 30,0              | 3,00                              | 12,0                                  | 15,0                                | 828,4  | 1192,26                      | 1455,17                      |

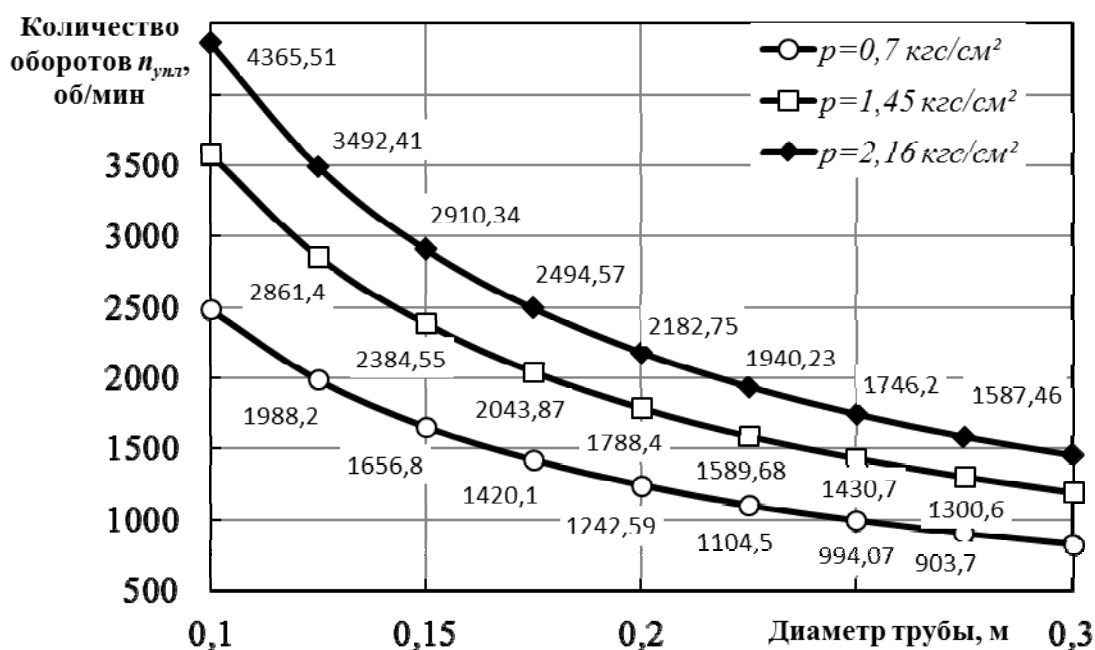


Рис. 3. – Зависимость изменения количества оборотов при уплотнении от диаметра трубы при различном давлении прессования

На основании полученных расчетных данных можно сделать вывод, что традиционные режимы формования безнапорных труб, характеризуются скоростью вращения формы от 82 до 300 об/мин на стадиях загрузки и распределения бетонной смеси. При этом на стадии уплотнения регулирование скорости вращения формы изменяется в весьма широких пределах и во многом зависит от вязкости бетонной смеси и прессующего давления ( $p = 0,7$  кг/см<sup>2</sup>;  $p = 1,45$  кг/см<sup>2</sup>;  $p = 2,16$  кг/см<sup>2</sup>) от 825 до 4400

об/мин для бетонных труб диаметром от 100 до 300 мм. Моделирование параметров режима формования при центрифугировании изделий кольцеобразного сечения на лабораторной установке при максимальном давлении прессования  $p = 2,16 \text{ кг/см}^2$ , позволит уточнить полученные данные и изучить их влияние на вариативность структуры бетона.

### Литература

1. Ахвердов И.Н. Вопросы теории центробежного формования и уплотнения бетонной смеси. – Республиканское научно – техническое совещание: Технология формования железобетонных изделий, 1979. С. 3-12.
2. Попов А.Н. Производство и применение железобетонных и бетонных труб для напорных и безнапорных трубопроводов. – М., 1975. С. 149.
3. Штаерман Ю.Я. Центрифугированный бетон. – Тифлис, 1933. 107 с.
4. Руководство по проектированию, изготовлению и применению железобетонных центрифугированных конструкций кольцевого сечения (НИИЖБ). – М., 1979. С. 47-50, 64-71.
5. Дубинина В.Г. Разработка оптимальных параметров центрифугирования железобетонных безнапорных труб: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Нижний Тагил, 2002. 150 с.
6. 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.
7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // «Науковедение» Том 9, №4 (2017) naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Егорочкина И.О., Шляхова Е.А., Черпаков А.В., Кучеренко Д.Ю., Манвелян Л.А. Алгоритм выполнения ремонтных работ по восстановлению стоек опор ЛЭП // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3882.

17. Егорочкина И.О., Шляхова Е.А., Черпаков А.В., Заровный А.Г., Кучеренко Д.Ю., Лежнев В.Н. Критерий оценки качества ремонтных работ стоек опор ЛЭП // Инженерный вестник Дона, 2017, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4063.

18. Егорочкина И.О., Шляхова Е.А., Черпаков А.В., Соловьев А.Н. Анализ влияния дефектов в основании опоры ЛЭП на параметры собственных поперечных колебаний на основе аналитической модели // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3432.

19. 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.

20. 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. 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 – tehnikeskoe soveshanie: Tehnologiya formovaniya zhelezobetonnyh izdeliy, 1979. pp. 3-12.

2. Popov A.N. Proizvodstvo i primeneniye zhelezobetonnyh i betonnyh trub dlya napornyh i beznapornyh truboprovodov [Manufacture and application of reinforced concrete and concrete pipes for pressure and non-pressure pipelines]. M., 1975. P. 149.

3. Shtaerman Yu.Ya. Centrifugirovannyi beton [Centrifuged concrete]. Tiflis, 1933. 107 p.

4. Rukovodstvo po proektirovaniyu, izgotovleniyu i primeneniyu zhelezobetonnyh centrifugirovannykh konstruktsiy kol'cevogo secheniya (NIIZhB). M., 1979. pp. 47-50, 64-71.

5. 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.

6. Romanenko E.Yu. Vysokoprochnye betony s mineral'nymi poristymi i voloknistymi dobavkami dlya izgotovleniya dlinnomernykh 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.

7. Petrov V.P. Tehnologiya i svoystva centrifugirovannogo 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. Nazhnev 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313).

12. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Holodnyak M.G., Shcherban' E.M. «Naukovedenie», Vol. 9, №4 (2017) URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).

13. 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.

14. 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.

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

16. Egorochkina I.O., Shlyakhova E.A., Cherpakov A.V., Kucherenko D.Yu., Manvelyan L.A., Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3882](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3882).

17. Egorochkina I.O., Shlyakhova E.A., Cherpakov A.V., Zarovnyy A.G., Kucherenko D.Yu., Lezhnev V.N., Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4063](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4063).



18. Egorochkina I.O., Shlyakhova E.A., Cherpakov A.V., Solov'ev A.N., Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3432](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3432).

19. 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.

20. 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.