

Оптимизация параметров центрифугированных изделий кольцевого сечения на стадии уплотнения

*Л.Р. Маилян, С.А. Стельмах, А.К. Халюшев,
Е.М. Щербань, М.Г. Холодняк, М.П. Нажуев*

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Проведен анализ опытных данных и изучены работы, посвященные учету влияния фактора прессующего давления с целью оптимизации параметров центрифугированных изделий кольцеобразного сечения на стадии уплотнения. Вычислено количество оборотов формы на стадии уплотнения при различных значениях прессующего давления. Выполнен статистический анализ полученных уравнений регрессии по трем критериям: однородности дисперсий, значимости коэффициентов и адекватности, которая проверялась с помощью критерия Фишера. Данные статистически обработаны с помощью программы «Mathcad», что позволило получить уравнения регрессии в виде полиномов второй степени с конкретными значениями их коэффициентов. Построена графическая интерпретация математических зависимостей. Получены расчетные зависимости, позволяющие определять требуемое количество оборотов для любого необходимого диаметра и толщины стенки кольцевых центрифугированных изделий при заданной фиксированной величине прессующего давления в бетоне.

Ключевые слова: прессующее давление, центрифугированные изделия кольцевого сечения, функция отклика, фактор варьирования, метод наименьших квадратов, уравнение регрессии

Введение. С целью оптимизации параметров центрифугированных изделий кольцеобразного сечения на стадии уплотнения был проведен анализ опытных данных и изучены работы, посвященные учету влияния фактора прессующего давления.

Результаты анализа в виде формул с их кратким описанием представлены в таблице № 1.

Таблица № 1

Анализ литературных данных

№	Формула	Замечания	Авторы
п/ п			



1	$n_{\text{упл}} = 8680 \cdot \sqrt{\frac{R}{(R^2 - r^2)}}$ <p>об/мин</p> <p>R и r – наружный и внутренний радиусы трубы, см. (прессующее давление $C_0 = 0,07$ МПа).</p>	Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и C_0	Михельсон Е.Э.
2	$n_{\text{упл}} = 520 \cdot \sqrt{\frac{p_n \cdot R}{g \cdot (R^3 - r_1^3)}}$ <p>об/мин</p> <p>R – радиус формы, м; r_1 – внутренний радиус трубы, м; g – объемный вес смеси, Г/см³. (прессующее давление $p_n = 0,07-0,1$ МПа)</p>	Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и p_n	Скрамтаев Б.Г., Балатьев П.К.
3	$n_{\text{упл}} = 10375 \cdot \sqrt{\frac{R_2 \cdot p}{(R_2^3 - R_1^3)}}$ <p>об/мин</p> <p>R_1 и R_2 – внутренний и наружный радиусы изделий, см. (прессующее давление $p = 0,07$ МПа).</p>	Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и p	Ахвердов И.Н.
4	$n_{\text{упл}} = 10500 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot p}{(R^3 - r_0^3)}}$ <p>об/мин</p> <p>R и r_0 – внутренние радиусы формы и трубы, см; p – центробежная сила, кгс/см².</p>	Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и p	Попов А.Н.
5	$n_{\text{упл}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{26,5 \cdot p}{(0,024 \cdot A)}}$ <p>об/мин</p> <p>где $A = R^2 - \frac{r^3}{R}$, коэффициент R и r – наружный и внутренний радиусы изделия, м; (прессующее давление $p = 0,07-0,15$ МПа)</p>	1. Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и p ; 2. Завышение результатов в 15 и более раз	Чаус К.В.
6	$n_{\text{упл}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{265 \cdot P}{0,0236 \cdot A}}$ <p>об/мин</p> <p>где R и r – наружный и внутренний радиусы формы, см; $A = R^2 - \frac{r^3}{R}$ – коэффициент (прессующее давление в центрифугах: а) свободнороликовых $P = 0,07$ МПа; б) клиноремных $P = 0,15$ МПа).</p>	1. Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и p 2. Занижение результатов в 2 раза	Сорокер В.И.
7	$n_{\text{упл}} = 10375 \cdot \sqrt{\frac{r_2 \cdot p}{(r_2^3 - r_1^3)}}$ <p>об/мин</p> <p>где r_1 и r_2 – внутренний и наружный радиусы трубчатой конструкции, см; (прессующее давление $p = 0,145$ МПа)</p>	Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и p	Сизов В.Н.

8	$n_{\text{упл}} = 32400 \cdot \sqrt{P \cdot r_n / (r_n^3 - r_b^3)}, \text{ об/мин}$ <p>где r_n и r_b – наружный и внутренний радиусы изделия, см; (прессующее давление $p = 0,145 \text{ МПа}$)</p>	Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и p	Михайлов К.В., Фоломеев А.А.
9	$n_{\text{упл}} = 3240 \cdot \sqrt{R \cdot P / (R^3 - r^3)}, \text{ об/мин}$ <p>где R и r – наружный и внутренний радиусы формы, см (прессующее давление $p = 0,145 \text{ МПа}$).</p>	1.Использование взаимозависимых величин $n_{\text{упл}}$ и p 2. Занижение результатов в 10 раз	Баженов Ю.М.

По расчетным формулам (1-6), приведенным в таблице № 1, вычисляли количество оборотов формы на стадии уплотнения $n_{\text{упл}}$ при прессующем давлении $p=0,07 \text{ МПа}$ [1-9].

Основная часть. Анализ показал (рис. 1), что формулы (5, 6) слишком сильно отличаются от реальных значений, поэтому нами были выбраны интервалы варьирования, включая только расчетные формулы (1-4). Прессующее давление для всех расчетных формул принято одинаковым и равным $p=0,07 \text{ МПа}$.

При прессующем давлении $p=0,145 \text{ МПа}$ расчеты проводили по формулам (7-9). Из рис. 2 видно, что полученное количество оборотов при уплотнении также значительно разнится – так, по формуле (5) (таблица № 1), результат превышает реальные значения в 3 раза. В формулах же (6, 9) (таблица № 1) результаты менее реальных значений в 10 и 3 раза соответственно. Наиболее точные данные были получены по формулам (7, 8), поэтому были выбраны соответствующие интервалы варьирования именно по этим данным.

Значения факторов варьирования и их физический смысл представлены в таблице № 2.

За функцию отклика было принято $Y_1 (X_1, X_2)$ – количество оборотов при уплотнении бетонной смеси (об/мин).

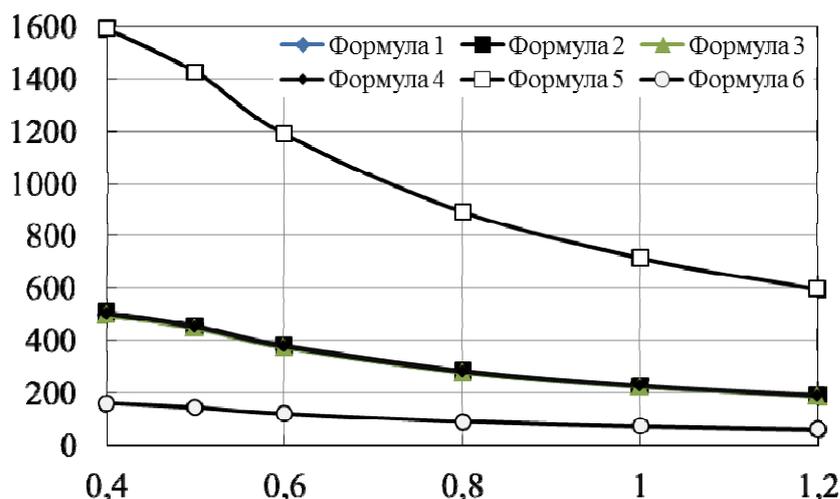


Рис. 1. – Зависимость количества оборотов на стадии уплотнения от диаметра трубы центрифугированного изделия при давлении $p=0,07$ МПа (для расчетных формул 1-6)

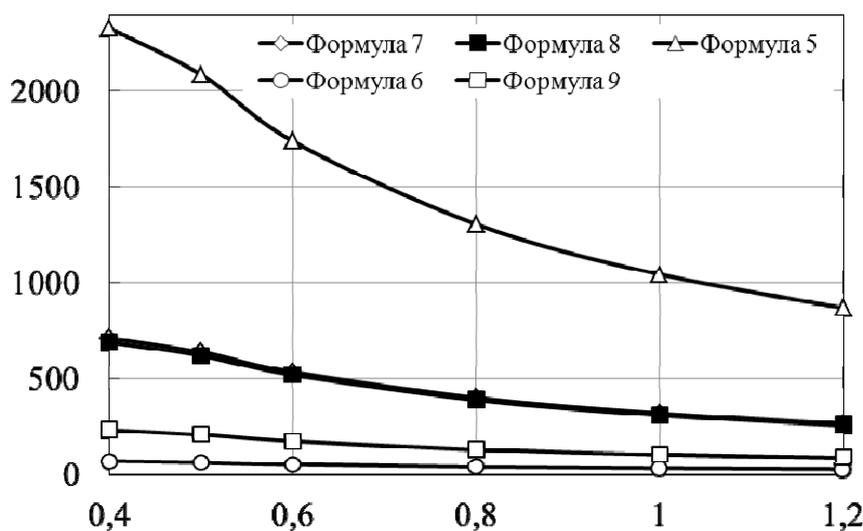


Рис. 2. – Зависимость количества оборотов на стадии уплотнения от диаметра трубы центрифугированного изделия при давлении $p=0,145$ МПа (для расчетных формул (7-9)).

Таблица № 2

Значение факторов варьирования ПФЭ 2^k

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. измерения	Интервал варьирования	Уровни фактора		
					-1	0	+1
1	X ₁	диаметр трубы	м	±0,4	0,4	0,8	1,2
2	X ₂	толщина стенки трубы	м	±0,03	0,05	0,08	0,11

План эксперимента и результаты параметров оптимизации приведены в таблице № 3.

Таблица № 3

План эксперимента и результаты параметров оптимизации

№	Кодирование переменных		Натуральные значения		Средние значения параметров оптимизации		
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	Y ₁ (X ₁ , X ₂) = n _{ynl}		
					p=0,07 МПа	p=0,084 МПа	p=0,145 МПа
1	-1	-1	0,4	0,05	573,56	628,3	816,43
2	-1	0	0,4	0,08	492,52	539,54	701,09
3	-1	+1	0,4	0,11	457,44	501,11	651,14
4	0	-1	0,8	0,05	379,53	415,76	540,25
5	0	0	0,8	0,08	312,14	341,93	444,31
6	0	+1	0,8	0,11	277,17	303,62	394,53
7	+1	-1	1,2	0,05	303,27	332,23	431,69
8	+1	0	1,2	0,08	246,05	269,54	350,24
9	+1	+1	1,2	0,11	215,43	235,99	306,65

По результатам исследования методом наименьших квадратов были получены базовые уравнения регрессии в виде полиномов 2-ой степени:

$$Y(X_1, X_2) = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_1 \cdot X_2 + B_4 \cdot X_1^2 + B_5 \cdot X_2^2$$

Статистический анализ полученных уравнений регрессии оценивали по трем критериям: однородности дисперсий, значимости коэффициентов и адекватности, которая проверялась с помощью критерия Фишера.

По результатам экспериментов определяем: критерий Фишера F ; дисперсию D_0^2 ; среднеквадратическое отклонение S_0 и среднеквадратическую ошибку в определении коэффициентов ζ , которые приведены в таблице № 4.

По расчетному значению ζ – критерия Стьюдента устанавливаем значимость коэффициентов уравнений. Значения полученных коэффициентов сведены в таблицу № 5.

Таблица № 4

Статистические критерии оптимизации

Наименование выходного параметра уравнения	Статистические критерии
--	-------------------------



	F	D_0^2	S_0	ζ
количество оборотов на стадии уплотнения бетонной смеси ($n_{упл}$) при давлении прессования ($p=0,07; 0,084; 0,145$ МПа)	132,57	1,394	1,181	2,047
	130,981	1,743	1,321	2,289
	132,198	2,903	1,704	2,954

Таблица № 5

Расчетные коэффициенты уравнений регрессии

Наименование выходного параметра уравнения	Коэффициенты уравнений					
	B_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
количество оборотов на стадии уплотнения бетонной смеси ($n_{упл}$) при давлении прессования ($p=0,07; 0,084; 0,145$ МПа)	311,134	-127,93	-50,376	58,324	15,68	4,078
	340,996	-139,98	-55,196	64,021	16,977	4,375
	443,133	-181,92	-71,692	83,121	22,065	5,728

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы «Mathcad», что позволило получить уравнения регрессии в виде полиномов второй степени с конкретными значениями их коэффициентов:

$$Y(X_1, X_2) = 311,13 - 127,93 \cdot X_1 - 50,37 \cdot X_2 + 58,32 \cdot X_1 \cdot X_2 + 15,68 \cdot X_1^2 + 4,07 \cdot X_2^2 \quad (10)$$

$$Y(X_1, X_2) = 340,99 - 139,98 \cdot X_1 - 55,19 \cdot X_2 + 64,02 \cdot X_1 \cdot X_2 + 16,97 \cdot X_1^2 + 4,37 \cdot X_2^2 \quad (11)$$

$$Y(X_1, X_2) = 443,13 - 181,92 \cdot X_1 - 71,69 \cdot X_2 + 83,12 \cdot X_1 \cdot X_2 + 22,06 \cdot X_1^2 + 5,73 \cdot X_2^2 \quad (12)$$

Графическая интерпретация математических зависимостей представлена на рис. 3, 4, 5.

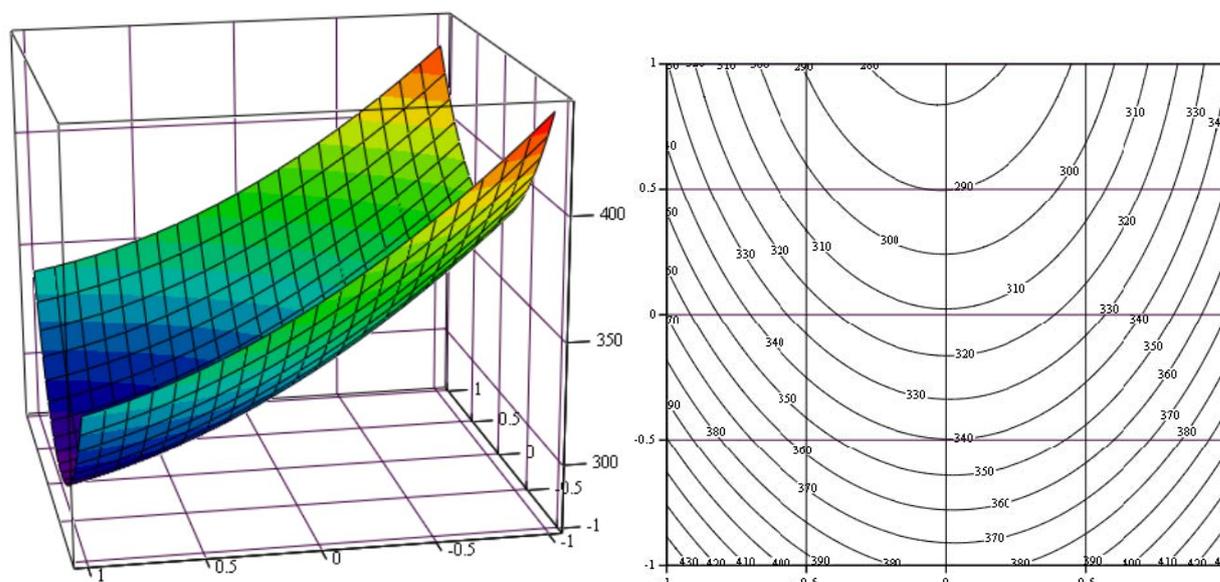


Рис.3. – Зависимость количества оборотов на стадии уплотнения (n_{ynl}) при фиксированной величине прессующего давления ($p=0,07$ МПа) от диаметра (X_1) и толщины стенки (X_2) центрифугированных изделий кольцеобразного сечения

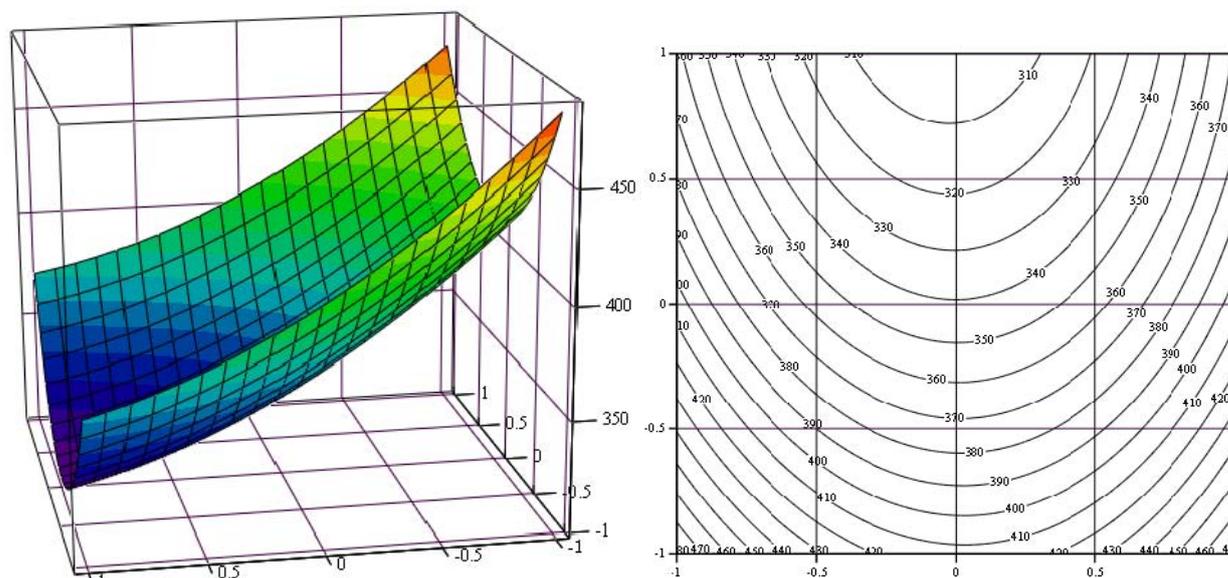


Рис. 4. – Зависимость количества оборотов на стадии уплотнения (n_{ynl}) при фиксированной величине прессующего давления ($p=0,084$ МПа) от диаметра (X_1) и толщины стенки (X_2) центрифугированных изделий кольцеобразного сечения

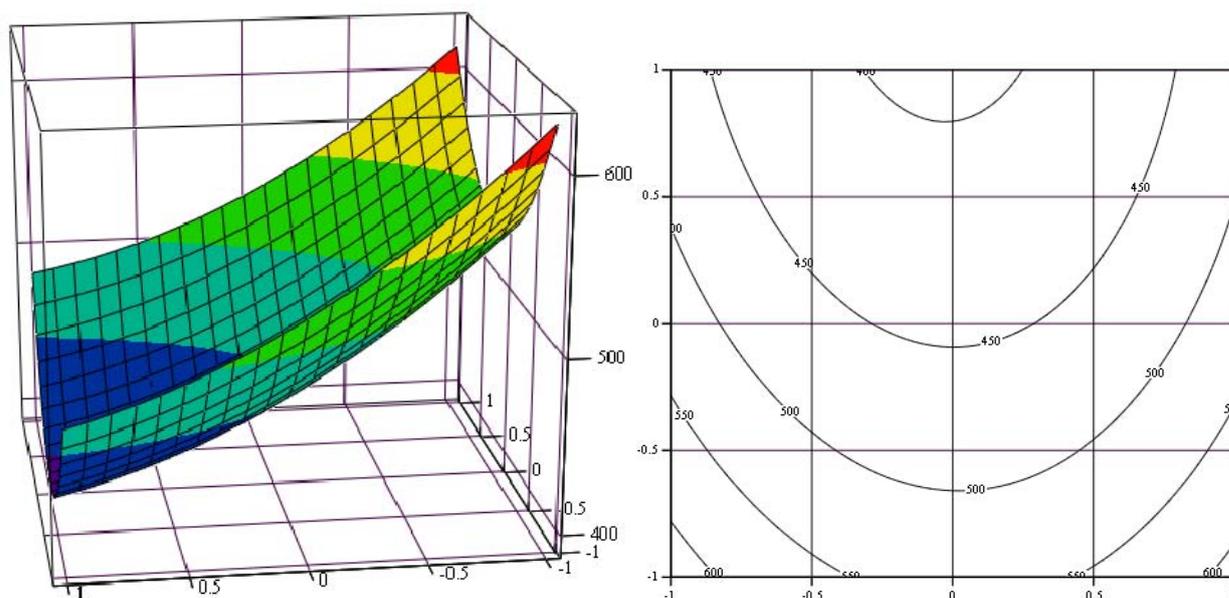


Рис. 5. – Зависимость количества оборотов на стадии уплотнения (n_{ynl}) при фиксированной величине прессующего давления ($p=0,145$ МПа) от диаметра (X_1) и толщины стенки (X_2) центрифугированных изделий кольцеобразного сечения

Выводы. Таким образом, нами получены расчетные зависимости, позволяющие определять требуемое количество оборотов для любого необходимого диаметра и толщины стенки кольцевых центрифугированных изделий при заданной фиксированной величине прессующего давления в бетоне.

Литература

1. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющий и напрягающий цементы и самоупрочненные железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1974. 312 с.
2. Сапожников М.Я. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. М.: Машгиз, 1962. 522 с.
3. Попов К.Н., Шмурнов И.К. Физико-механические испытания строительных материалов: Учеб. для техн. училищ. М.: Высш.школа, 1984. 208 с.

4. Каландадзе В.Ш. Ресурсосберегающие железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1993. 384 с.
 5. Сторк Ю. Теория состава бетонной смеси. Братислава, 1964. 238 с.
 6. Михайлов К.В., Ционский А.Л. Повышение эффективности промышленности железобетонных и бетонных труб // Бетон и железобетон. 1986. №5. С. 35-36.
 7. Kausser D. Bestimmung der Einsatzwerte bet der Schleuderichtung. Baustoffindustrie. 1959. № 11. pp. 12-14.
 8. Сорокер В.И. Задачи и примеры по технологии бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1964. 189 с.
 9. Смирнов Ю.А. Качество внутренней поверхности труб при центробежно-прокатном формовании // Бетон и железобетон. 1990. №12. С. 13-14.
 10. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длинномерных центрифугированных конструкций: дис.... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.
 11. 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.
 12. 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.
-

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Anatoliy Shuisky, Sergey Stelmakh, Evgeniy Shcherban and ElenaTorlinaRecipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete. MATEC Web of Conferences. ICMTMTE. 2017. Vol. 129.URL: matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_05011.pdf.

References

1. Mikhaylov V.V., Litver S.L. Rasshiryayushchiy i napryagayushchiy tsementy i samonapryazhennye zhelezobetonnye konstruksii [Expanding and tensile cements and self-stressed reinforced concrete structures]. М.: Stroyizdat, 1974. 312 p.

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

3. Popov K.N., Shmurnov I.K. Fiziko-mekhanicheskie ispytaniya stroitel'nykh materialov [Physical and mechanical testing of building materials]: Ucheb. dlyatekhn. uchilishch. M.: Vyssh.shkola, 1984. 208 p.
 4. Kalandadze V.Sh. Resursosberegayushchie zhelezobetonnye konstruksii [Resource-saving reinforced concrete structures]. M.: Stroyizdat, 1993. 384 p.
 5. Stork J. Teoriya sostava betonnoy smesi [Theory of the composition of a concrete mixture]. Bratislava, 1964. 238 p.
 6. Mikhaylov K.V., Tsionskiy A.L. Beton i zhelezobeton. 1986.№. 5. pp. 35-36.
 7. Kausser D. Baustoffindustrie. 1959.№ 11. pp. 12-14.
 8. Soroker V.I. Zadachi i primery po tekhnologii betonnykh i zhelezobetonnykh izdeliy [Tasks and examples on the technology of concrete and reinforced concrete products]. M.: Stroyizdat, 1964. 189 p.
 9. Smirnov Yu.A. Beton i zhelezobeton. 1990. № 12. pp. 13-14.
 10. Romanenko E.Yu. Vysokoprochnye betony s mineral'nymi poristymi i voloknistymi dobavkami dlya izgotovleniya dlinnomernykh centrifugeirovannykh konstrukciy [High-strength concretes with mineral porous and fibrous additives for the manufacture of long-length centrifuged structures]: dis. kand. tehn. nauk. Rostov-on-Don, 1989. 179 p.
 11. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M., Khalyushev A.K. Stroitel'stvo i arkhitektura 2017. Vol 5. № 4 (17). pp. 224-228. DOI: 10.29039/article_5a3d204784bde1.80590750.
 12. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Mailyan L.R., Shcherban' E.M., Nazhnev M.P. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2017. Vol. 5. № 4 (17). pp. 229-233. DOI:10.29039/article_5a3d2045950c47.62229919.
 13. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M. Scientific bulletin SevKavGTI. 2017. № 3 (30). pp. 134-137.
-



14. Nazhuev M.P., Yanovskaya A.V., Kholodniak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban E.M., Stelmakh S.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313.

15. 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.

16. Anatoliy Shuisky, Sergey Stelmakh, Evgeniy Shcherban and Elena Torlina MATEC Web of Conferences. ICMTMTE. 2017, Vol. 129. URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_05011.pdf.