

**Н. Житкевич**

**Графический расчет  
цилиндрических сводов на  
основании теории упругости**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 93  
ББК 63.3  
Н11

Н11 **Н. Житкевич**  
Графический расчет цилиндрических сводов на основании теории упругости  
/ Н. Житкевич – М.: Книга по Требованию, 2020. – 146 с.

**ISBN 978-5-518-01993-5**

**ISBN 978-5-518-01993-5**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2020

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2020

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



VI)	5	образцовъ	состава.	{	1 ч. цемента.
				{	2,5 ч. песку изъ Дуная.
				{	5 ч. гравія.
VII)	3	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	2,5 ч. песку изъ Egginger'a.
				{	5 ч. известковаго щебня.
	3	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	2,5 ч. песку изъ Дуная.
				{	5 ч. известковаго щебня.
VIII)	6	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	3 ч. песку изъ Дуная.
				{	6 ч. гравія.
IX)	3	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	3 ч. песку изъ Дуная.
				{	6 ч. известковаго щебня.
	3	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	3 ч. песку изъ Egginger'a.
				{	6 ч. известковаго щебня.
X)	6	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	3,5 ч. песку.
				{	7 ч. гравія.
XI)	6	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	3,5 ч. песку.
				{	7 ч. известковаго щебня.
XII)	6	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	4 ч. песку.
				{	8 ч. гравія.
XIII)	3	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	4 ч. песку изъ Дуная.
				{	8 ч. известковаго щебня.
	3	»	»	{	1 ч. цемента.
{				4 ч. песку изъ Egginger a.	
{				8 ч. известковаго щебня.	
XIV)	6	»	»	{	1 ч. цемента.
				{	4,5 ч. песку (Д).
				{	9 ч. гравія.

XV) 6 образцовъ состава.	}	1 ч. цемента.
		4,5 ч. песку (Е).
	}	9 ч. известковаго щебня.
XVI) 6 » »		1 ч. цемента.
	}	5 ч. песку (Д).
		10 ч. гравія.
XVII) 6 » »	}	1 ч. цемента.
		5 ч. песку (Е).
	}	10 ч. известковаго щебня.
XVIII) 3 » »		1 ч. цемента.
	}	1,5 ч. песку (Е).
		3 ч. мелкаго щебня.
XIX) 3 » »	}	1 ч. цемента.
		1,5 ч. песку (Е).
	}	3 ч. гравія.
XX) 3 » »		1 ч. цемента.
	}	2 ч. песку (Е).
		4 ч. мелкаго щебня.
XXI) 3 » »	}	1 ч. цемента.
		2 ч. песку (Е).
	}	4 ч. гравія.

Всего 102 образца.

Цементъ (В) далъ на ситѣ 900 отверстій на 1 кв. сантим. остатокъ 1,9%; цементъ (L) — 3,3%.

Песокъ, щебень и гравій были тщательно промыты и просушены. Перемѣшиваніе смоченныхъ составныхъ частей производилось на платформахъ, послѣ чего заполняли слоями бетона деревянныя формы съ разъемными желѣзными обручами, утрамбовывая каждый слой до появленія воды. Торцы образцовъ покрывались слоемъ цементнаго раствора толщиной 1 сантим. Деревянныя формы снимались черезъ день; на бетонные цилиндры надѣвались мѣшки, которые въ теченіе 28 дней держались влажными. Къ испытаніямъ приступали черезъ 76—97 дней послѣ приготовленія образцовъ.

Ислѣдованія производились помощью машины, вкладыши которой представлены на черт. I, въ фиг. 1. Концы об-

разцовъ ограничивались параллельными плоскостями, къ которымъ прилежали зажимныя плиты, упирающіяся въ машину сферическими поверхностями, благодаря чему давленіе распредѣлялось равномерно по всему верхнему и нижнему основаніямъ испытуемыхъ цилиндровъ.

Для измѣренія деформаций служилъ приборъ, фиг. 1 и 2, состоящій изъ двухъ колець: верхняго *AA* и нижняго *BB*; кольца эти прикрѣплялись къ образцу 4-мя нажимными винтами; разстояніе *l* между кольцами принято 750 милим.

Къ верхнему кольцу прикрѣплялись два измѣрительныхъ прибора, состоявшіе изъ дуги съ дѣленіями, фиг. 2, и стрѣлки *G*, соединенной зубчатою передачею съ рычагомъ *DEF*, вращающимся около точки *E*. Въ конецъ *D* рычага упирается вертикальный стержень *C*, установленный на нижнемъ кольцѣ. Поэтому при малѣйшемъ сжатіи образца конецъ *D* рычага поднимается и стрѣлка даетъ нѣкоторый отсчетъ по дугѣ.

Приборъ устроенъ такъ, что при укорачиваніи образца на 1 милим. стрѣлка передвигается по дугѣ на 300 милим.

Отсчетъ по дугѣ можно было сдѣлать съ точностью до 0,1 милим., и поэтому деформация образца измѣрялась съ точностью до  $\frac{1}{3000}$  милим., такъ что, при первоначальномъ разстояніи между кольцами  $l=750$  милим., относительное укорачиваніе выражалось съ точностью

$$\frac{1}{3.000 \times 750} = \frac{1}{2.250.000}$$

Измѣрительные приборы прикрѣплялись съ двухъ противоположныхъ сторонъ, какъ показано въ фиг. 1; слѣдовательно сжатіе опредѣлялось вдоль двухъ диаметрально противоположныхъ производящихъ цилиндра. Деформация опредѣлялась какъ средняя арифметическая отсчетовъ на двухъ приборахъ.

Нагрузки увеличивались постепенно отъ нуля до наибольшей величины въ теченіе 1,5 минутъ; разгрузка производилась также постепенно.

При каждомъ отдѣльномъ опытѣ послѣдовательныя на-

грузки и разгрузки производились до тѣхъ поръ, пока получалась постоянная деформация.

Результаты опытовъ выражены графически въ прилагаемыхъ діаграммахъ, черт. I и II, фиг. 3—55, въ которыхъ ординаты представляютъ нагрузки, а абсциссы — соответственныя сжатія: полная, остающіяся и упругія.

Кромѣ того для образцовъ изъ цемента (В) состава: 1 ч. цемента, 2,5 ч. песку и 5 ч. гравія приведена таблица № 1.

Образцы эти испытывались черезъ 2,5 мѣсяца послѣ приготовления.

Средній діаметръ образца—25,4 сантим.

Поперечное сѣченіе  $\frac{\pi}{4} \cdot 25,4^2 = 506,7$  кв. сантим.

Высота . . . . . 100,8 сантим.

Вѣсъ . . . . . 120,6 килограм.

Удѣльный вѣсъ . . 2,33.

Температура при началѣ опытовъ 15° Ц., въ концѣ 15,7° Ц.

Таблица № 1.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Нагрузка въ влогр.		Отсчетъ въ $\frac{1}{300}$ саят.		Сумма отсчетовъ.	Сжатию въ $\frac{1}{600}$ саят.		
Полная.	На 1 кв. саят.	Лѣвый.	Правый.		Полное.	Остающееся.	Исчезающее.
0		5,00	5,00	10,00			
4.000	7,9	5,64	5,65	11,29	1,29	0,16	0,13
0		5,08	5,08	10,16			
4.000		5,63	5,67	11,30	1,30	0,16	0,14
0		5,06	5,10	10,16			
4.000		5,63	5,70	10,33	1,33	0,17	0,16
0		5,07	5,10	10,17			
4.000		5,64	5,69	11,33	1,33	0,17	0,16
0		5,07	5,10	10,17			
8.000	15,8	6,32	6,46	12,78	2,78	0,31	2,47
0		5,16	5,15	10,31			
8.000		6,33	6,50	12,83	2,83	0,34	2,49
0		5,15	5,19	10,34			
8.000		6,35	6,52	12,87	2,87	0,35	2,52
0		5,16	5,19	10,35			
8.000		6,39	6,51	12,90	2,90	0,35	2,55
0		5,16	5,19	10,35			
8.000		6,39	6,51	12,90	2,90	0,35	2,55
0		5,16	5,19	10,35			
12.000	23,7	6,88	7,59	14,47	4,47	0,50	3,97
0		5,20	5,30	10,50			
12.000		6,94	7,68	14,62	4,62	0,53	4,09
0		5,21	5,32	10,53			
12.000		6,95	7,69	14,64	4,64	0,55	4,09
0		5,22	5,33	10,55			
12.000		6,96	7,71	14,67	4,67	0,55	4,12
0		5,22	5,33	10,55			
12.000		6,96	7,71	14,67	4,67	0,55	4,12
0		5,22	5,33	10,55			

5) При нагрузкахъ отъ 12.000 килогр. до 16.000 килогр. (23,7—31,6 килогр. на кв. сантим.)

$$\alpha = \frac{5,80-4,12}{600.75(31,6-23,7)} = \frac{1}{212.000}$$

6) При нагрузкахъ отъ 16.000 килогр. до 20.000 килогр. (31,6—39,5 килогр. на кв. сантим.)

$$\alpha = \frac{7,63-5,80}{600.75(39,5-31,6)} = \frac{1}{194.000}$$

Мѣрой упругости можетъ служить въ данномъ случаѣ коэффициентъ сжатія  $\alpha$  или величина обратная:  $\epsilon = \frac{1}{\alpha}$ , называемая коэффициентомъ упругости при сжатіи.

Приведенныя вычисленія показываютъ, что коэффициентъ сжатія непостояненъ и увеличивается съ увеличеніемъ нагрузки.

Результаты опытовъ надъ образцами изъ цемента (L) приведены на диаграммахъ фиг. 15, 16, 17, 19, 20, 22, 24—32.

Всѣ первоначальныя опыты надъ образцами бетона изъ цементовъ (B) и (L) показали:

1) При постепенныхъ нагрузкахъ и разгрузкахъ отъ 0 до 20.000 килогр., или 40 килогр. на 1 кв. сантим. поперечнаго сѣченія, число послѣдовательныхъ нагрузокъ и разгрузокъ, необходимыхъ для полученія постоянного сжатія, быстро увеличивается по мѣрѣ возрастанія нагрузокъ.

2) Величина полного сжатія зависитъ отъ времени дѣйствія нагрузки.

3) Для образцовъ изъ цемента (L), не выдержаннаго въ складахъ, требовалось значительно большее число послѣдовательныхъ нагрузокъ и разгрузокъ для полученія постоянного полного сжатія. Такъ напримѣръ, для образца состава: 1 ч. цемента (L), 2,5 ч. песку и 5 ч. гравія при нагрузкѣ отъ 0 до 16.000 килогр. (31,6 килогр. на кв. сантим.) потребовалось 11 послѣдовательныхъ нагрузокъ и разгрузокъ, тогда какъ для образца того же состава изъ цемента (B)— всего только 5 нагрузокъ и разгрузокъ.

При этомъ:

4) Во всѣхъ образцахъ изъ цемента (B) сжатія полное

и остающиеся значительно меньше чѣмъ для образцовъ изъ цемента (L) того же состава и при тѣхъ же нагрузкахъ, что ясно видно изъ сравненія диаграммъ фиг. 3—14 съ диаграммами фиг. 15—20 и 24—32.

Вообще опыты показали, что на упругія свойства бетона значительное вліяніе имѣютъ:

- 1) свойства цемента;
- 2) относительное количество прочихъ составныхъ частей, и
- 3) качества ихъ.

И уже приведена таблица № 2 коэффициента сжатія  $\alpha$  для образцовъ бетона различного состава изъ цемента (B) при нагрузкахъ отъ 0 до 4.000 килогр.

Таблица № 2.

№№	СОСТАВЪ ОБРАЗЦА.	Среднее значеніе $\alpha$ .
I	Чистый цементъ . . . . .	0,00000474
II	1 ч. цемента, 1,5 ч. песку изъ Дуная (D) . . . . .	0,00000356
III	1 ч. " 3 ч. " . . . . .	0,00000431
IV	1 ч. " 4,5 ч. " . . . . .	0,00000628
V	Чистый цементъ другой партіи . . . . .	0,00000525
VI	1 ч. цемента, 2,5 ч. песку (D), 5 ч. гравія . . . . .	0,00000452
VII	1 ч. " 2,5 ч. " (E), 5 ч. " . . . . .	0,00000804
VIII	1 ч. " 3 ч. " (D), 6 ч. " . . . . .	0,00000474
IX	1 ч. " 3 ч. " (D), 6 ч. известк. щебня . . . . .	0,00000369
X	1 ч. " 3,5 ч. " (D), 7 ч. гравія . . . . .	0,00000571
XI	1 ч. " 3,5 ч. " (D), 7 ч. известк. щебня . . . . .	0,00000397
XII	1 ч. " 4 ч. " (D), 8 ч. гравія . . . . .	0,00000618
XIII	1 ч. " 4 ч. " (D), 8 ч. известк. щебня . . . . .	0,00000429
XIV	1 ч. " 4,5 ч. " (D), 9 ч. гравія . . . . .	0,00000601
XV	1 ч. " 4,5 ч. " (E), 9 ч. известк. щебня . . . . .	0,00000459
XVI	1 ч. " 5 ч. " (D), 10 ч. гравія . . . . .	0,00000642
XVII	1 ч. " 5 ч. " (E), 10 ч. известк. щебня . . . . .	0,00000419

Результаты опытов приведены на диаграммах фиг. 32а—56.

Опыт показалъ, что значительное вліаніе на упругость бетона имѣетъ количество песку. Такъ напримѣръ, коэффициентъ сжатія при начальныхъ нагрузкахъ опредѣленъ:

1) для образца изъ чистаго цемента:

$$\alpha = 0,00000474 = \frac{1}{211.000};$$

2) для образца изъ цементнаго раствора 1 ч. цемента, 1,5 ч. песку

$$\alpha = 0,00000356 = \frac{1}{281.000};$$

3) для раствора 1 ч. цемента, 3 ч. песку

$$\alpha = 0,00000431 = \frac{1}{232.000};$$

4) для раствора 1 ч. цемента, 4,5 ч. песку

$$\alpha = 0,00000668 = \frac{1}{159.000}.$$

На черт. III, въ фиг. 57, абсцисы кривой *ABC* выражаютъ относительное количество песку, а ординаты—соотвѣтственные коэффициенты сжатія  $\alpha$ , такъ что абсциссѣ 0 (чистый цементъ) соотвѣт. ордината 0,00000476 и т. д.

Диаграмма показываетъ, что примѣсь песка сперва уменьшаетъ коэффициентъ сжатія, при составѣ раствора около 1:1,5 коэффициентъ сжатія получаетъ наименьшее значеніе и меньше коэффициента сжатія для раствора изъ чистаго цемента на

$$100 \cdot \frac{474-356}{474} = 25\%.$$

Съ увеличеніемъ содержанія песку коэффициентъ  $\alpha$  увеличивается и принимаетъ то же значеніе какъ и для чистаго цемента при относительномъ количествѣ песку 1:3; съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ содержанія песку коэффициентъ сжатія увеличивается.

Въ фиг. 58 представлены кривыя, выражающія законъ измѣненія коэффициента сжатія раствора въ зависимости отъ количества песку и постепенно возрастающихъ нагрузокъ отъ:

0 . . .	до 4.000	килогр.
0 . . .	> 8.000	>
0 . . .	> 12.000	>
0 . . .	> 16.000	>
0 . . .	> 20.000	>

При томъ же относительномъ содержаніи песку (абсциссы) коэффициенты сжатія (ордонаты) увеличиваются по мѣрѣ возрастанія нагрузокъ.

Вліяніе относительнаго количества другихъ составныхъ частей—гравія и щебня—видно изъ діаграммъ, упомянутыхъ выше. Опытъ показываетъ, что при употребленіи гравія получаются бетоны болѣе упругіе, чѣмъ бетоны со щебнемъ. На упругость бетона вліяютъ также качества составныхъ частей, напримѣръ песка.

Такимъ образомъ, коэффициентъ сжатія бетона не постояненъ и зависитъ:

- 1) отъ состава бетона, т. е. относительнаго количества и качествъ его составныхъ частей;
- 2) отъ величины нагрузки, и
- 3) отъ продолжительности ея дѣйствія.

## II. *Опыты надъ образцами изъ гранита.*

Въ Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, 1897 г. № 9, приведены результаты опытовъ Баха надъ образцами изъ сѣняго мелкозернистаго гранита для опредѣленія коэффициента упругости при перерѣзываніи, раздробленіи, изгибѣ, сжатіи и растяженіи.

Для опредѣленія коэффициента сжатія производились опыты надъ двумя цилиндрическими образцами діаметромъ 21,5 сантим. и высотой 105,05 сантим.; надъ каждымъ образцомъ было произведено по три опыта.

### *Образецъ I.*

Средній діаметръ . . . . .	21,5	сантим.
Поперечное сѣченіе . . . . .	363,1	кв. сантим.
Высота . . . . .	105,05	сантим.
Вѣсъ . . . . .	100,83	килогр.
Удѣльный вѣсъ . . . . .	2,64.	

Первый опыт былъ произведенъ 13-го июня 1896 г.

Длина цилиндра между кольцами измѣрительнаго прибора  $l = 75$  сантим. Постепенныя нагрузки производились отъ 0 до  $P = 5.000, 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 30.000, 35.000, 40.000, 50.000, 60.000$  килогр.

и повторялись до тѣхъ поръ, пока деформация дѣлалась постоянною.

При нагрузкѣ 5.000 килогр., для получения постоянныхъ сжатій: полнаго, остающагося и исчезающаго, требовалось произвести три послѣдовательныя нагрузки и разгрузки.

При нагрузкѣ 10.000 килогр.	. . .	6
» » 25.000 »	. . .	9
» » 50.000 »	. . .	11

Въ прилагаемой таблицѣ приведены величины полнаго, остающагося и исчезающаго сжатій при различныхъ напряженіяхъ.

При возрастаніи напряженія отъ 0 до 6.	Сжатія цилиндра длиною 75 сантим., выраженныя въ $\frac{1}{1000}$ сантим.		
	Полное.	Остающееся.	Исчезающее.
0 до 13,8 килогр. . . . .	3,98	0,48	3,50
0 „ 27,5 „ . . . . .	9,17	1,41	7,76
0 „ 41,3 „ . . . . .	14,40	2,31	12,09
0 „ 55,1 „ . . . . .	19,62	3,16	16,46
0 „ 68,9 „ . . . . .	25,02	4,21	20,81
0 „ 82,6 „ . . . . .	29,89	4,98	24,91
0 „ 110,2 „ . . . . .	39,74	6,88	32,86
0 „ 137,7 „ . . . . .	48,39	8,36	40,03
0 „ 165,2 „ . . . . .	57,12	10,03	47,09