



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассмотрена проблема оценки длительной прочности бетона в железобетонных конструкциях. Приведены показатели длительной прочности бетона в процессе эксплуатации железобетонных колонн по четырём объектам.

Обследование, железобетонные конструкции, длительная прочность бетона.

Проектирование несущих железобетонных конструкций, подвергаемых длительному воздействию статических нагрузок, без учета длительности процессов этих явлений может привести к серьезным погрешностям при оценке длительной прочности, выносливости и пространственной жесткости несущих элементов зданий, так как влияние условий эксплуатации может привести как к увеличению прочности бетона, так и к снижению. Кроме условий эксплуатации при оценке остаточной несущей способности конструкций оказывают влияние и изменения в нормативной литературе. Изучение вопроса длительной прочности железобетонных конструкций в различных условиях поможет более точно подобрать класс бетона конструкции и расчетные параметры при обследовании зданий.

В процессе обследования зданий была оценена прочность бетона колонн следующих несущих конструкций:

- в 2007 году были обследованы конструкции здания скипового подъемника доменного цеха ОАО «Северсталь», введенного в эксплуатацию в 1955 году. Период эксплуатации составил 52 года (1 объект);

- в 2009 году были обследованы железобетонные конструкции литейного корпуса № 1 ООО «Ферумплав» в Вологде, введенного в эксплуатацию в 1987 году. Срок эксплуатации 22 года (2 объект);

- в 2013 году был обследован сборочный корпус № 2 «Сухонского целлюлозно-бумажного комбината», построен в 1956 году. Период эксплуатации составил 57 лет (3 объект);

- в 2019 году были обследованы несущие железобетонные конструкции одноэтажного гаража в с/п

Нелазское Череповецкого района Вологодской обл., введенного в эксплуатацию в 1976 г. Срок эксплуатации – 43 года (4 объект).

Во всех обследуемых зданиях была произведена оценка прочности бетона колонн:

- проектная марка бетона колонн по прочности 1 объекта на сжатие М150 с нормативным сопротивлением бетона сжатию $R_{np}^H = 85$ кгс/см², нормативной кубиковой прочностью бетона $R^H = 116$ кгс/см² и призмной прочностью $R_{np} = 70$ кгс/см² [1];

- проектный класс бетона колонн по прочности В22,5, что соответствует марке бетона М300 2 объекта на сжатие с параметрами $R_{np}^H = 170$ кгс/см², $R^H = 232$ кгс/см² и $R_{np} = 135$ кгс/см² [2];

- проектная марка бетона колонн по прочности 3 объекта на сжатие М200 с параметрами $R_{np}^H = 115$ кгс/см², $R^H = 155$ кгс/см² и $R_{np} = 90$ кгс/см² [1];

- проектный класс бетона колонн по прочности 4 объекта на сжатие В15 с параметрами $R_{en} = 9,5$ МПа и $R_g = 8,5$ МПа [3], что соответствует проектной марке бетона М200.

Конструкции 1 и 3 объектов были рассчитаны по СНиП II-V.1-62*, 2 объекта – по СНиП II-21-75 [1]. Конструкции 4 объекта были рассчитаны по СНиП 2.03.01-84* [2], в котором марки бетона заменены на классы.

В связи с введением нового СНиПа [2] и СП 63.13330.2012 [4] был проведен анализ изменения нормативной прочности бетона, который приведен в таблице 1.

Таблица 1

Прочность бетона

Марка бетона по прочности на сжатие	Класс бетона по прочности на сжатие	Отличие от марки бетона, %	R_{np}^H кгс/см ² по СНиП II-21-75 [1]	R_{en} по СНиП 2.03.01-84 [2]	R_{en} , МПа по СП 63.13330.2012 [4]
М150	В10	-12,7	85	$\frac{7,5}{76,5}$	7,5
М200	В15	-1,8	115	$\frac{11,0}{112}$	11,0
М300	В25 В22,5	+9,1 -1,8	170 -	$\frac{18,5}{189}$	18,5 -

* – над чертой значение в МПа, под чертой – в кгс/см².

Из таблицы видно, что нормативная прочность бетона изменилась в 1984 году, т.е. здания, построенные ранее, имеют небольшой запас прочности бетона для марок М150 и М200, а для марки бетона М300 ближе по прочности подходит класс В22,5, но в настоящее время данный класс исключен из классификации бетонов. Таким образом, для марки бетона М300 нормативная прочность при расчетах ниже на 8%, чем заложена при проектировании.

На первом и втором объектах прочность бетона колонн определялась с помощью ультразвукового прибора «Пульсар 1.0». На третьем объекте обследование проводилось с помощью прибора «ИПС-МГ 4» 2012 года выпуска. На четвертом объекте фактическая прочность бетонов конструкций определялась электронным измерителем прочности «ИПС-МГ4.01», выпускаемом ООО «Стройприбор».

Условия эксплуатации на всех объектах нормальные, так как здания отапливаемые и в них не наблюдалось резких перепадов температур и влажности. Однако при обследовании были обнаружены раковины в бетоне колонн, повреждения защитного слоя, при этом не выявлено кренов колонн, искривлений (выгибов) ни в одной плоскости, что свидетельствует о работоспособном состоянии колонн, фундаментов и оснований на всех четырех объектах.

Фактически полученные значения прочности бетона колонн составили:
- первый объект: бетон марки М150 (табл. 2);

Таблица 2

Экспериментальная прочность бетона 1 объекта

Номер колонны	1	2	3
1. R_m МПа – сопротивление бетона по результатам обследования	21,39	20,17	24,23
2. R_{np}^n МПа – сопротивление бетона с учетом коэффициента 0,778	16,68	15,69	18,85
3. % расхождения от $R_{np}^n = 8,5$ МПа по марке бетона	+96	+85	+122

- второй объект: бетон марки М300 (табл. 3);

Таблица 3

Экспериментальная прочность бетона 2 объекта

Номер колонны	1	2	3	4	5
1. R_m МПа – сопротивление бетона по результатам обследования	19,63	21,54	20,96	22,15	23,18
2. R_{np}^n МПа – сопротивление бетона с учетом коэффициента 0,778	15,27	16,76	16,31	17,23	18,03
3. % расхождения от $R_{np}^n = 17$ МПа по марке бетона	-10	-1	-4	+1	+1

- третий объект: бетон марки М200 (табл. 4);

Таблица 4

Экспериментальная прочность бетона 3 объекта

Номер колонны	1	2	3	4	5	6	7
1. R_m МПа – сопротивление бетона по результатам обследования	13,6	12,7	18,5	19,9	27,5	31,5	19,7
2. R_{np}^n МПа – сопротивление бетона с учетом коэффициента 0,778	10,58	9,88	14,39	15,48	21,40	24,51	15,33
3. % расхождения от $R_{np}^n = 11,5$ МПа по марке бетона	-8	-14	+25	+35	+86	+113	+33

- четвертый объект: класс бетона В15 (табл. 5);

Таблица 5

Экспериментальная прочность бетона 4 объекта

Номер колонны	1	2	3	4	5	6
1. R_m МПа – сопротивление бетона по результатам обследования	29,7	32,8	53,2	27,2	26,6	44,3
2. R_{np}^n МПа – сопротивление бетона с учетом коэффициента 0,778	23,1	25,5	41,39	21,16	20,69	34,47
3. % расхождения от $R_{np}^n = 9,5$ МПа по марке бетона	143	169	336	86	118	263

Длительная прочность бетона

Авторы	А.А. Гвоздев	О.Я. Берг	А.В. Яшин	К.В. Сахновский	По результатам испытаний	Класс бетона по результатам испытаний по СП 63.13330.2012
1	2	3	4	5	6	7
Формулы длительной прочности	$0,8R_{np}$ (МПа)	$0,85R_{np}$ (МПа)	$[0,92 - 0,04(\lg t - \tau)] \times R_{np}$ МПа	$0,7R_{28} \lg n$ МПа	$R_{вп}$	
1 объект (марка М150)	$\frac{6,8}{6}$	$\frac{7,2}{6,4}$	$\frac{6,4}{5,6}$	$\frac{26,6}{22,5}$	16,90	В20 (+12,9%)
2 объект (марка М300)	$\frac{13,6}{14,8}$	$\frac{14,5}{15,7}$	$\frac{15,5}{15,1}$	$\frac{46,5}{45,1}$	14,50	В20 (+3,5%)
3 объект (марка М200)	$\frac{9,2}{8,8}$	$\frac{9,8}{9,4}$	$\frac{8,8}{9,0}$	$\frac{34,8}{36,1}$	8,29	В20 (+3,5%)
4 объект (класс бетона В15)	$\frac{7,6}{7,6}$	$\frac{8,1}{8,1}$	$\frac{8,3}{8,3}$	$\frac{25,0}{25,0}$	24,44	В30 (+11%)

Примечание:

- в скобках указан процент расхождения нормативной прочности бетона;
- n – продолжительность эксплуатации в днях;
- t – возраст бетона;
- τ – возраст бетона в момент загрузки, в расчетах принят за 28 суток.

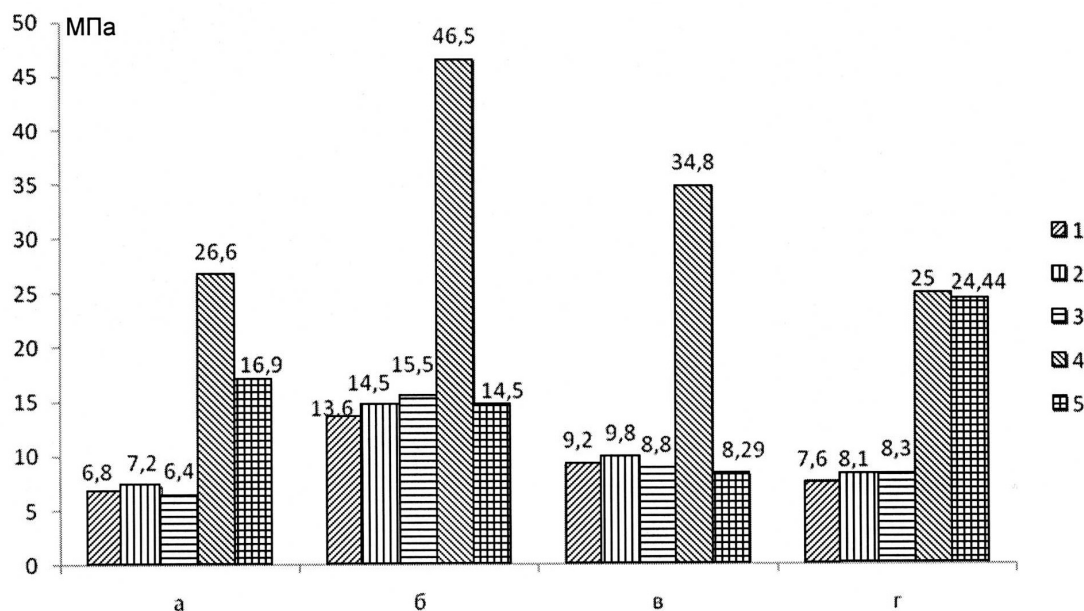


Рис. Длительная прочность бетона:
а – для бетона марки М150; б – для бетона марки М200; в – для бетона марки М300;
г – для бетона марки В15; 1, 2, 3, 4, 5 – номера столбцов таблицы 6

По результатам испытаний была выполнена статистическая обработка и занесена в таблицу 6 по следующему методике.

Среднее значение прочности бетона:

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{n}, \quad (1)$$

где n – число измерений (образцов).

Среднеквадратичное отклонение частных значений прочности бетона от среднего значения σ_R определяется по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n-1}}. \quad (2)$$

Коэффициент вариации контролируемых характеристик V_R определяется в соответствии с общими

правилами статистической обработки результатов измерений по формуле:

$$V_R = \frac{\sigma_R}{\bar{R}}. \quad (3)$$

Нормативные сопротивления бетона определяют по формуле:

$$R_{en} = \bar{R}(1 - kV_R), \quad (4)$$

где k – коэффициент, зависящий от обеспеченности нормативного сопротивления бетона. При обеспеченности $q = 90\%$, принимаемой в соответствии со СНиП 2.06.08-87 для массивных сооружений, $k = 1,28$. При обеспеченности $q = 95\%$, $k = 1,64$.

По значению R_{en} при обследовании железобетонных конструкций определяется класс бетона по проч-

ности на сжатие. Далее для данного класса бетона определяются расчетные сопротивления бетона и остаточная несущая способность.

Длительная прочность бетона изучается с пятидесятих годов прошлого столетия. Этой проблемой занимались А.А., Гвоздев, О.Я. Берг, А.В. Яшин, К.В. Сахновский и другие [3]. Каждый автор предложил свою формулу для определения длительной прочности (результаты оценки длительной прочности приведены в таблице 6). Результаты расчетов приведены на рисунке, по которым четко прослеживаются следующие закономерности:

- длительная прочность бетона, определенная по формулам А.А. Гвоздева, О.Я. Берга и А.В. Яшина, не учитывает повышение прочности бетона при длительной эксплуатации;

- длительная прочность бетона, определенная по формуле К.В. Сахновского, учитывает повышение длительной прочности бетона и совпадает с экспериментальными данными. Возможно, данное совпадение объясняется более точными измерениями прибора НПМ-МГ4.01, но только в одном объекте, на трех других оно дает значительное увеличение, не соответствующее экспериментальным данным.

Выводы по работе:

1. При оценке длительной прочности бетона колонн происходит нарастание прочности, которое более характерно для марок бетона М150, М200, что соответствует классам бетона В10 и В15.

2. При оценке длительной прочности бетона марки М300 динамики нарастания прочности не наблюдалось.

3. Прогнозирование длительной прочности для железобетонных конструкций в настоящее время не дает сходимых результатов с экспериментальными исследованиями и требует дальнейшего изучения данной тематики.

Литература

1. СНиП II – 21-75. Бетонные и железобетонные конструкции : введен 1977-01-01. – Москва : Стройиздат, 1986. – 90 с.

2. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции : введен 1986-01-01. – Москва : Стройиздат, 1985. – 79 с.

3. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции : введен 2004-03-01. – Москва : ФГУП ЦПП, 2003. – 24 с.

4. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции, актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 : введен 2013-01-01. – Москва : Минрегион России, 2011. – 155 с.

5. Берг, О. Я. Высокопрочный бетон / О. Я. Берг, Е. Н. Щербаков, Г. Н. Писанко – Москва : Стройиздат, 1971. – 209 с.

N.V. Mikhalevich, E.N. Shakhova

DETERMINATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES STRENGTH IN LONG-TERM OPERATION CONDITIONS

The article considers the problem of evaluation of long-term strength of concrete in reinforced concrete structures. Indicators of long-term strength of concrete during operation of reinforced concrete columns for four objects are given.

Inspection, reinforced concrete structures, long-term strength of concrete.