

С.М. Естемесова¹, И.М. Полякова²

^{1, 2} Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА)
г. Алматы, Республика Казахстан

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ИЗДЕЛИЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ**

Аннотация. В данной статье описано исследование зависимости прочности на растяжение $R_{btн}$ от класса бетона B . После проведения экспериментов над призмами-балочками было оценено влияние обжата бетона на его прочность на растяжение. Результаты испытаний показали, что предварительное обжатие бетона оказывает отрицательное влияние на прочность бетона на растяжение, что начинает проявляться при $\sigma_{вр}/R_{вр} \geq 0,15$.

Ключевые слова: железобетонные изделия, прочность на растяжение, трещиностойкость, влияние обжата.

Рассмотрим влияние преднапряжения на прочность бетона на растяжение при уровне обжата бетона $0,15 \leq \sigma_{вр}/R_{вр} \leq 0,5$ и продолжительности до двадцати восьми суток, характерное для пустотных настилов массового изготовления, может быть описано зависимостью (2) с $k = 0,6$ для изделий из тяжелого бетона и $k = 0,8$ для изделий на легком керамзитобетоне.

В настоящее время железобетонные конструкция и изделия применяются при строительстве практически всех зданий и сооружений.

Железобетонные изделия используются по всех видах зданий и сооружений:

- для жилых зданий – колонны, перекрытия, стены, фундаменты, перемычки, настилы, сваи;
- для общественных и промышленных зданий – здания, ангары, склады, основания и фундаменты для технологического оборудования арки и подколонные опоры, подкрановые балки;
- для инженерных коммуникаций – основания трубопроводных эстакад (сваи), трубы, лотки, кольца и трубы для колодцев;
- для сооружений особого назначения – аэродромы, атомные реакторы, гидроэлектростанции, причальные морские и речные сооружения (выполняют сборные ЖБИ по специально разработанным технологиям).

Зависимость прочности бетона на растяжение от прочности бетона на сжатие.

В расчетной практике для большинства железобетонных конструкций II и III категорий трещиностойкости прочность бетона на растяжение определяется по таблицам [1, 2] в зависимости от класса бетона, а также по расчетным формулам:

$$R_{btн} = 5B/(45+B) \quad [3],$$

$$R_{btн} = 0,233 * \sqrt[3]{B^2} \quad [4],$$

$$R_{btн} = 0,18 * \sqrt[3]{B^2} \quad [2].$$

Принятые методы определения $R_{btн}$ дают вполне удовлетворительную сходимость как между собой, так и с опытными данными [5]. Максимальное расхождение наблюдается между случаями нахождения $R_{btн}$ по методам (2) и (4), $\Delta R_{btн}$ составляет 29,5%.

Близкая сходимость результатов расчета имеет место по методикам (3) и (5) (см. табл. 1, рис. 1). Наиболее лучшие результаты всех 5-и методов определения $R_{btн}$ имеют место в диапазоне $B = (15 - 20)$ МПа. Это как раз тот диапазон класса бетона, который используется в пустотных настилах. Среднее значение во всем диапазоне изменения класса бетона занимает определение $R_{btн}$ по формуле (1), которая и была принята в расчетной оценке трещиностойкости испытываемых плитных конструкций.

Согласно исследованиям [6], прочность на растяжение бетона на щебне выше аналогичной прочности бетона на гравии в среднем на 15-35% из-за лучшего сцепления щебня с цементным камнем. Коэффициент вариации прочности на растяжение бетона на щебне равен 12-16%, а для бетона на гравии $k_v = 15-19\%$. Обеспеченность $R_{btн}$ бетона на гравии соответствует требованиям [7], а обеспеченность $R_{btн}$ бетона на щебне заметно выше этих требований.

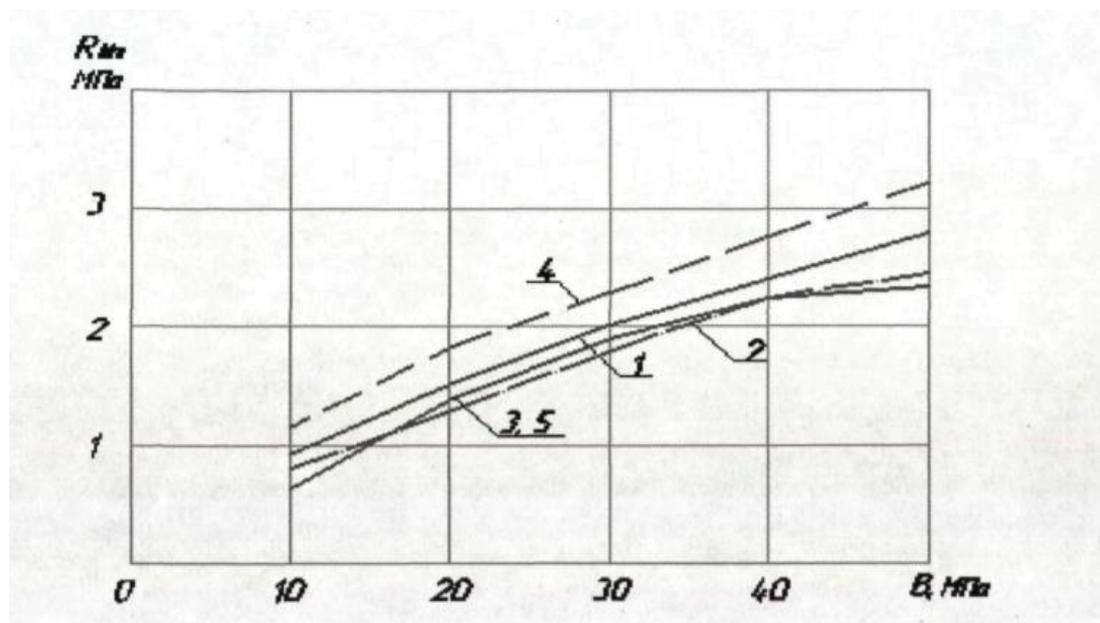


Рис. 1 – Зависимость прочности на растяжение $R_{btн}$ от класса бетона В

Последовательность обжатия: (i) – призма не обжата; (ii) – затянуты гайки 3 и 5, призма обжата; (iii) – затянуты гайки 3 и 4, призма обжата; (iv) – сняты гайки 5, призма обжата; (v) – призма обжата и поставлена на длительное хранение [9].

Детали установки обжатия: 1) призма-балочка; 2) тяги установки; 3) верхние гайки; 4) нижние гайки; 5) временные нижние гайки; 6) домкрат; 7) поршень домкрата; 8) силовая рама.

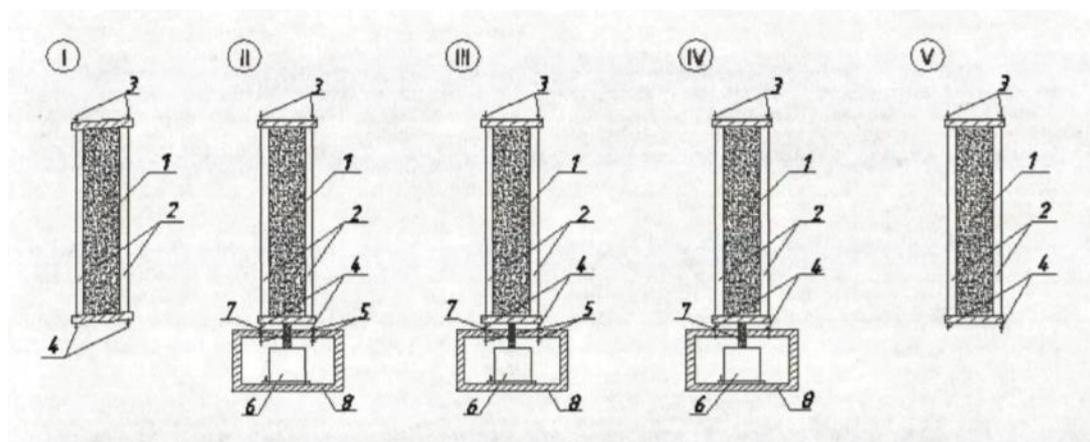


Рис. 2 – Обжатие призм-балочек

Таблица 1 – Определение предела прочности

Класс бетона В, МПа	Метод определения R_{btn} , МПа				
	(i) по формуле: $R_{btn} = \frac{5B}{45+B}$	(ii) по формуле: $R_{btn} = 0,18\sqrt[3]{B^2}$	(iii) по табл. 12 [127]	(iv) по формуле: $R_{btn} = 0,233\sqrt[3]{B^2}$	(v) по табл. 2.1-2 [129]
В 10	0,91	0,83	0,85	1,08	0,85
В 15	1,25	1,09	1,15	1,42	1,10
В 20	1,54	1,33	1,40	1,71	1,35
В 25	1,79	1,54	1,60	1,99	1,55
В 30	2,00	1,74	1,80	2,25	1,75
В 35	2,19	1,93	1,95	2,49	1,95
В 40	2,35	2,10	2,10	2,72	2,10
В 45	2,50	2,28	2,20	2,95	2,25
В 50	2,78	2,44	2,30	3,16	2,45

Влияние обжатия бетона на его прочность на растяжение.

В преднапряженных железобетонных конструкциях зона бетона, подвергнутая при эксплуатации растяжению, в стадии изготовления, хранения и монтажа предварительно обжата.

Снижение прочности бетона на растяжение при его предварительном обжатии, выявленное ранее только в [6] и [8], и явилось основной задачей настоящих исследований.

Исследования проводились одновременно на тяжелом и легком бетонах класса В15. При проведении испытаний учитывалось, что загрузка конструкций осуществлялось через 3-20 суток, а первоначальное обжатие проводилось сразу после термовлажной обработки изделий. При этом начальный уровень обжатия бетона изделий $\sigma_{вр}/R_{вр}$ принимается равным $\sigma_{вр}/R_{вр} = 0,5$.

Для проведения испытаний было изготовлено:

- пять серий образцов из тяжелого бетона. Серии I-III состояли из девяти призм-балочек размером 15x15x60 см и девяти кубов размером 15x15x15 см. Серии IV-V – из «двенадцати призм-балочек и шести кубов, что и в сериях I-III. Все образцы пяти серий изготавливались из бетона одного замеса;

- на легком керамзитобетоне было изготовлено четыре серии образцов. Каждая из серии состояла из трех призм-балочек и такого же количества кубов. Образцы всех серий также были изготовлены из бетона одного замеса.

Балочки и кубы пропаривались в заводских условиях, а затем в течение 1-3-х часов проводилась распалубка образцов, и в лабораторных условиях осуществлялось загрузке призм сжимающей нагрузкой в специальной установке (см. рис. 2). Перед загрузкой призм-балочек испытывалось необходимое количество кубов, и определялась начальная кубиковая прочность бетона.

Деформации усадки замерялись на незагруженных призмах. Методика и последовательность обжата призм показаны на рисунке 2.

Результаты испытаний незагруженных и предварительно обжатых призм-балочек на изгиб для определения прочности бетона на растяжение по разрушающему моменту:

$$R_{bt} = 3,5M_R/bh^2 \quad (1)$$

приведены в таблице 2 и на рисунке 3.

Как следует из результатов испытаний, представленных в табл. 2 и отображенных на рис. 3, предварительное обжатие бетона оказывает отрицательное влияние на прочность бетона на растяжение, что начинает проявляться при $\sigma_{вр}/R_{вр} \geq 0,15$. При обжатии бетона в пределах $0,15 \leq \sigma_{вр}/R_{вр} \leq 0,5$ снижение прочности на растяжение достигает в среднем 15% для тяжелого и 20% для легкого бетонов (см. рис. 3).

Для теоретической оценки снижения прочности на растяжение обжатого бетона была использована предложенная ранее в [6] зависимость вида:

$$R_{bтn}^{BP} = R_{bтn} [1 - k(\sigma_{вр}/R_{вр})^2]. \quad (2)$$

Сопоставление опытных данных с расчетом показало вполне приемлемую сходимость при коэффициенте $k = 0,6$ для тяжелого бетона и $k = 0,8$ для легкого керамзитобетона (см. табл. 3 и рис. 3). Проверка достоверности уравнения (2) с коэффициентами $k = 0,6$ и $k = 0,8$ по критерию Стьюдента показала, что его достоверность с доверительной вероятностью $\alpha \geq 0,95$:

$t^{op} = 6,02 > t_{кр} = 2,09$ – для тяжелого бетона;

$t^{op} = 2,96 > t_{кр} = 2,20$ – для легкого бетона.

Таблица 2 – Прочностные характеристики материала

Наименование образца	Возраст τ в образцах	$\sigma_{вр}/R_{вр}$	$\left(\frac{R_{bтn}^{BP}}{R_{bтn}}\right)_{op}$	$\left(\frac{R_{bтn}^{BP}}{R_{bтn}}\right)_T$	$\Delta R_{bтn}^{BP} = \frac{\left(\frac{R_{bтn}^{BP}}{R_{bтn}}\right)_{op}}{\left(\frac{R_{bтn}^{BP}}{R_{bтn}}\right)_T}$
1ИО-1	1	0,215	1,056	0,972	1,086
1ИО-2	1	0,394	0,981	0,907	1,081
1ИО-3	1	0,518	0,928	0,839	1,106
2ИО-4	14	0,183	0,905	0,980	0,923
2ИО-5	14	0,154	0,918	0,985	0,932
2ИО-6	14	0,296	0,960	0,947	1,014

ЗИО-7	28	0,110	0,903	0,992,	- 0,910
ЗИО-8	28	0,201	0,998	0,975	1,023
ЗИО-9	28	0,173	0,912	0,982	0,929
4ИО-10	7	0,353	1,002	0,925	1,083
4ИО-11	7	0,528	0,994	0,833	1,068
4ИО-12	7	0,283	0,964	0,952	1,013
4ИО-13	7	0,387	0,935	0,948	0,986
4ИО-14	7	0,295	0,914	0,871	1,049
4ИО-15	7	0,463	0,921	0,919	1,002
5ИО-16	14	0,368	0,921	0,978?	0,995
5ИО-17	14	0,189	0,973	0,968	0,964
5ИО-18	14	0,232	0,933	0,986	0,964
5ИО-19	14	0,151	1,013	0,986	1,027
5ИО-20	14	0,193	0,978'	0,977	1,001
5ИО-21	14	0,223	0,945	0,970	0,974
1ИО-1	1	0,315	0,901	0,931	0,968
1ИО-2	1	0,418	0,91-2	0,878	1,038
1ИО-3	1	0,561	0,842	0,800	1,052
2ИО-4	7	0,280	0,923	0,961	0,960
2ИО-5	7	0,393	0,844	0,892	0,946
2ИО-6	7	0,210	0,932	0,973	0,958
ЗИО-7	14	0,204	0,904	0,971	0,931
ЗИО-8	14	0,182	0,983	0,977	1,006
ЗИО-9	14	0,158	0,895	0,982	0,911
4ИО-10	28	0,132	0,907	0,988	0,918
4ИО-11	28	0,106	0,963	0,992	0,971
4ИО-12	28	0,085	1,004	0,995	1,009

Таблица 3 – Деформативные характеристики материала

Параметры вариабельности	Δ	S	k	t	D= $\Delta \pm t S$
	Тяжелый бетон				
	1,008	0,058	0,0580	2,09	1,129-0,887
Легкий керамзитобетон					
	0,974	0,0455	0,0467	2,20	1,074-0,874

Коэффициент линейной корреляции в первом случае $r_{sk} = 0,76$; во втором – $r_{sk} = 0,63$. Среднее квадратическое отклонение S уравнения (2) от среднего значения опытных данных Δ составило $S=0,058$ и $S=0,0455$ (см. табл. 3). Ошибка расчета от опытных значений с доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$ в обоих случаях не превышает $\pm 12\%$ (см. рис. 3).

Из анализа экспериментальных данных можно сделать вывод, что, несмотря на падение напряжения в бетонной призме-балочке вследствие совместного действия усадки, ползучести и релаксации напряжений, начальное напряжение $\sigma_{вр}$ уже оказало свое отрицательное влияние на прочность бетона на сжатие, вызвав в нем микротрещинообразование, которое при $\sigma_{вр}/R_{вр} > 0,15$ уже не залечивается (см. табл. 2). Эти данные согласуются с данными других исследователей [4]. Однако влияние начального обжатия на прочность бетона на растяжение ранее проводилось только в [6].

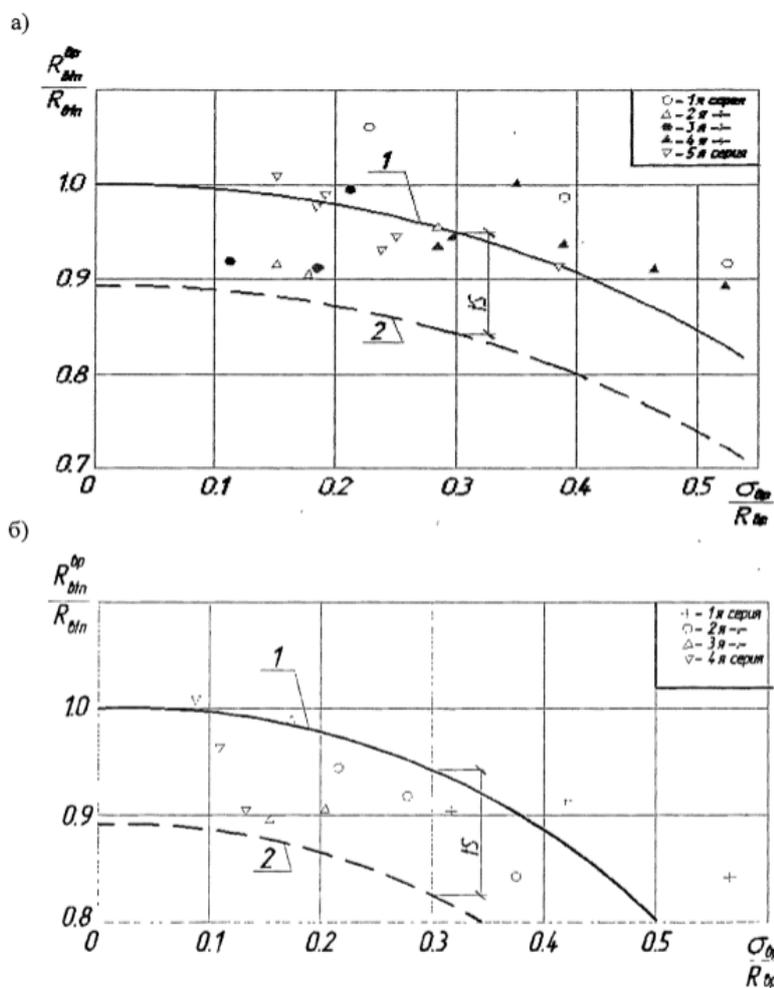


Рис. 3 – Влияние уровня кратковременного обжатия на изменение прочности бетона на растяжение:

- а) - тяжелый бетон; б) - легкий керамзитобетон; 1 – расчетное уравнение; 2 – доверительный интервал с доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$. \circ , Δ , \bullet , $+$, \blacktriangle - опытные данные.

Литература:

1. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 2000. – 145 с.
2. СП 52-101-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 2002. – 143 с.
3. Авиром Л.С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1971. – 216 с.
4. Алексеев С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. – М.: Стройиздат, 1968. – 177 с.
5. Применение: в железобетонных конструкциях новой свариваемой арматуры класса А — V / С.А. Мадатян [и др.] // Расчет и конструирование железобетонных конструкций: тр. VII Всесоюз. конф. по бетону и железобетону. – Л.: Стройиздат, 1972. – С. 44-54.
6. Попов Н.Н., Забегаев А.В. Проектирование и расчет железобетонных конструкций. – ВШ., 1985. – 320 с.
7. Стандарт 350/DGS6935 – 2. Steel for the reinforcement of concrete. Part 2. Ribbed bars. – 1990.
8. W. Zheng, K.H. Kwan and P.K. Lee, Direct tension test of concrete// ACI Materials Journal. – 2001. –98(1). – 63.
9. Q. Li, Y. Duanand, G. Wang, Behavior of large concrete specimens in uniaxial tension // Magazine of Concrete Research. – 2002. – 54 (5). – 385.

References:

1. SNiP 2.03.01-84*. *Concrete and reinforced concrete structures.* – Moscow, 2000. – 145 p.
2. SP 52-101-02. *Concrete and reinforced concrete structures.* – Moscow, 2002. – 143 p.
3. Aviom L. S. *Reliability of structures of prefabricated buildings and structures.* – Moscow: Stroyizdat, 1971. – 216 p.
4. Alekseev S. N. *Corrosion and protection of reinforcement in concrete.* – Moscow: Stroyzdat, 1968. – 177 p.
5. *Application: in reinforced concrete structures of the new welded reinforcement of class A-B / S. A. Madatyan [and others] // Calculation and construction of reinforced concrete structures: req. of the VII Vsesoyuz. conf. on concrete and reinforced concrete.* – L.: Stroyizdat, 1972. – pp. 44-54.
6. Popov N. N., Zabegayev A.V. *Design and calculation of reinforced concrete structures.* Higher School, 1985.– 320 p.
7. Standard 350/DGS6935 – 2. *Steel for the reinforcement of concrete. Part 2. Ribbed bars.* 1990.
8. W. Zheng, K.H. Kwan and P.K. Lee, *Direct tension test of concrete // ACI Materials Journal.* – 2001. – 98(1). – 63.
9. Q. Li, Y. Duanand, G. Wang, *Behavior of large concrete specimens in uniaxial tension // Magazine of Concrete Research.* – 2002. – 54 (5). – 385.

С.М. Естемесова¹, И.М. Полякова²

^{1,2}Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы),
Алматы қ., Қазақстан Республикасы

ТЕМІРБЕТОН БҰЙЫМДАРЫНЫҢ СОЗЫЛУ БЕРІКТІГІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада R_{bt} созылу беріктігінің В бетон класына тәуелділігін зерттеу сипатталған, призма-сәулелеріне тәжірибелер жүргізілгеннен кейін, оның созылу беріктігіне бетонның сығылуының әсері бағаланды. Сынақ нәтижелері бетонның алдын-ала сығылуы $\sigma_{ср}/R_{ср} \geq 0,15$ -те көрініс бере бастайтын созылудың беріктігіне теріс әсер ететіндігін көрсетті.

Түйін сөздер: темірбетон бұйымдары, созылуға беріктік, жарыққа төзімділік, сығымдау эффектісі.

S. M. Estemesova¹, I. M. Polyakova²

^{1,2} International Educational Corporation (KazGASA Campus),
Almaty, Republic of Kazakhstan

THE STUDY OF THE TENSILE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

Annotation. This article describes the study of the dependence of the tensile strength R_{bt} on the class B concrete. After carrying out experiments on the prism-beams, the effect of concrete compression on its tensile strength was evaluated. The test results showed that the preliminary compression of concrete has a negative effect on the tensile strength of concrete, which begins to manifest itself at $\sigma_{ср}/R_{ср} \geq 0,15$.

Keywords: reinforced concrete products, tensile strength, crack resistance, compression effect.