

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-3.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/11TVN317.pdf>

Статья опубликована 18.05.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Несветаев Г.В., Ву Л.К. Модель для оценки сцепления цементного камня с заполнителем по величине предела прочности бетона при осевом растяжении // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/11TVN317.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 62

**Несветаев Григорий Васильевич**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону<sup>1</sup>  
Заведующий кафедрой «Технология строительного производства»  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: nesgrin@yandex.ru  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=394531](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=394531)

**Ву Ле Куен**

Ханойский архитектурный университет, Вьетнам, Ханой  
Преподаватель кафедры «Металлических и деревянных конструкций»  
E-mail: lequyenvu.hau@gmail.com

**Модель для оценки сцепления цементного камня  
с заполнителем по величине предела прочности бетона  
при осевом растяжении**

**Аннотация.** В статье предложена модель, описывающая зависимость предела прочности бетона при осевом растяжении от величины сцепления цементного камня с заполнителем и предела прочности цементного камня при осевом растяжении. По данным об изменении предела прочности при осевом растяжении бетонов, изготовленных с применением суперпластификаторов при различных величинах В/Ц и на различных заполнителях, слабо взаимодействующих химически с цементным камнем (граниты, гранодиориты), авторами произведена оценка величины сцепления цементного камня с заполнителем, которая составила от 0,29 до 0,74 МПа, или от 0,06 до 0,156 относительно величины предела прочности цементного камня при осевом растяжении. Анализ литературных данных показал, что при прямых испытаниях на сцепление цементного камня (изготовленного без суперпластификаторов) с заполнителем значения адгезии составляют для гранитов, в зависимости от вида поверхности, от 0,6 до 1,8 МПа или от 0,136 до 0,59 относительно величины предела прочности цементного камня при осевом растяжении. Снижение предела прочности на растяжение бетонов, изготовленных с применением заполнителей, слабо взаимодействующих химически с цементным камнем (граниты, гранодиориты), составило в среднем 18%, максимально - 36% в сравнении со среднестатистическими данными.

**Ключевые слова:** бетон; предел прочности при растяжении; цементный камень; заполнители; адгезия; модель

---

<sup>1</sup> 344022, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, ДГТУ, АСА, кафедра «Технология строительного производства»

Долговечность железобетонных конструкций зависит от их трещиностойкости, которая определяется, в том числе, пределом прочности бетона на растяжение, которая существенно зависит от сцепления цементного камня с заполнителем. Одной из ведущих тенденций современного бетоноведения является воздействие различными модификаторами или технологическими приемами на структуру цементного камня и, особенно, контактную зону «цементный камень - заполнитель» с целью минимизации пористости цементного камня (бетона) и технологических дефектов в структуре бетона. Основными рецептурными факторами, определяющими структуру цементного камня и контактной зоны цементного камня с заполнителем, являются [1-3 и др.]:

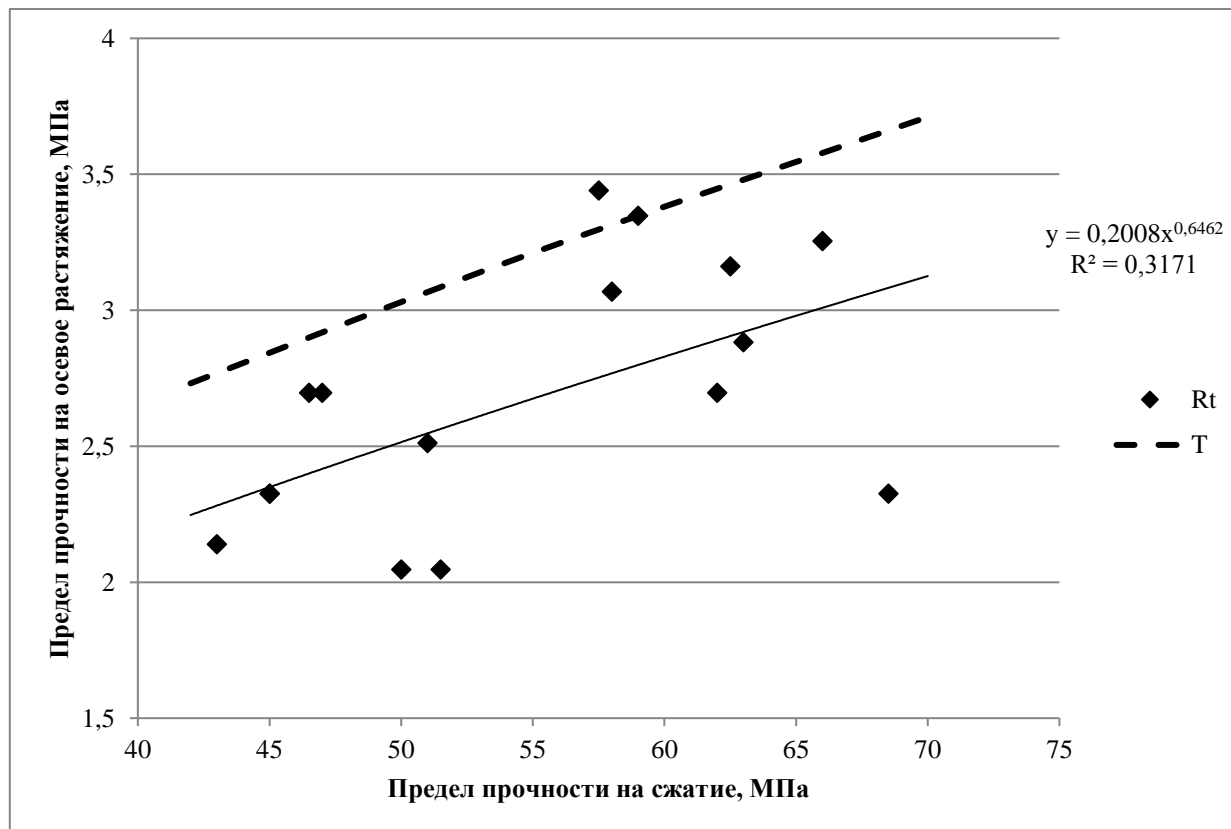
- снижение водоцементного отношения (далее - В/Ц) посредством применения суперпластификаторов;
- регулирование пористости и свойств контактной зоны посредством введения минеральных модификаторов, влияющих на собственные деформации цементного камня, его пористость и сцепление с заполнителем.

Как уже отмечалось, важным фактором, определяющим, в первую очередь, предел прочности бетона на растяжение (осевое, при изгибе), является величина сцепления цементного камня с заполнителем, т.е. структура и свойства контактной зоны. Влияние сцепления цементного камня на прочность бетона обстоятельно изучалась многими исследователями [4-7 и др.]. На сегодняшний день можно считать достоверно установленными следующие факты:

- прочность сцепления цементного камня с заполнителем зависит от характера поверхности и чистоты зерен заполнителей, от химико-минералогического состава зерен заполнителей [8-14];
- при увеличении прочности цементного камня прочность сцепления возрастает [7];
- контактная зона «цементный камень - заполнитель» обычно имеет толщину до 60 мкм, состоит из нескольких (в некоторых источниках указывается до 4) различающихся по плотности и свойствам слоев [9];
- пористость контактной зоны обычно выше пористости цементного камня в объеме, особенно в слое толщиной до 30 мкм [15], вследствие более высокого значения В/Ц [16], что может негативно влиять на величину сцепления цементного камня с заполнителем;
- на величину сцепления оказывают влияние собственные деформации цементного камня, усадка цементного камня приводит к снижению величины сцепления [10, 11];
- в бетонах на заполнителях, химически не взаимодействующих с вяжущим (изверженные горные породы), контактный слой практически отсутствует. Прочность адгезионного сцепления цементного камня с заполнителем близка к нулю, сцепление цементного камня с заполнителем обеспечивается в основном за счет зацепления неровностей поверхности. В случае заполнителей, химически и физико-химически взаимодействующих с цементным камнем (карбонатные породы и кварцевые пески), происходит некоторое снижение прочности заполнителя в зоне контакта и возникает диффузный промежуточный слой, за счет чего прочность контактной зоны в этом случае имеет примерно одинаковый порядок с прочностью цементного камня в объеме [9, 11, 14, 15];

- вследствие различной прочности сцепления прочность бетона на сжатие на разных заполнителях может различаться до 50% при одинаковых свойствах цементного камня, при этом более высокую прочность обеспечивают заполнители, химически и физико-химически взаимодействующих с вяжущим [13].

Во Вьетнаме производятся заполнители из горных пород, практически не взаимодействующих с цементным камнем (граниты, гранодиориты). В связи с этим следует ожидать пониженное значение прочности сцепления цементного камня с заполнителем, что может отразиться как на предельной прочности на сжатие, так и, особенно, на растяжении. Исследование закономерностей изменения предела прочности на осевое растяжение бетонов, изготовленных на различных материалах Вьетнама [18] выявило пониженное значение предела прочности на осевое растяжение. Анализ расширенной базы данных (рис. 1) подтвердил пониженное в среднем до 18% значение предела прочности бетонов, изготовленных на некоторых материалах Вьетнама, на осевое растяжение. Причем в отдельных случаях отмечено понижение прочности на осевое растяжение до 36% относительно среднестатистических данных (рис. 1). Поскольку в экспериментах использовались заполнители с высокой чистотой поверхности, в частности, содержание ПГ в песке не превышало 0,5%, вероятной причиной пониженного сцепления является пониженное сцепление цементного камня с заполнителем.



$R_t$  - экспериментальные данные;  $T$  - по формуле  $R_t = 0,29 \cdot R^{0,6}$  [20]

**Рисунок 1.** Соотношение пределов прочности на сжатие и осевое растяжение (разработано автором)

Как известно, величина нормального сцепления цементного камня с минеральной подложкой (заполнителем) в зависимости от минералогии и вида поверхности заполнителя может составлять от 0,1 до 0,9 от предела прочности цементного камня на растяжение [12, 13]. Если рассмотреть элементарную ячейку бетона «матрица - заполнитель»  $d$  в виде куба с ребром,

равным 1, в которой заполнитель представлен в виде шара диаметром  $d$  (рис. 2), то можно записать:

$$R_t = A_m \cdot R_{t,m} + A_{tz} \cdot R_{tz} = \left(1 - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right) \cdot R_{t,m} + \pi \cdot d^2 \cdot R_{t,m} \cdot k, \quad (1)$$

где:

$R_t$ ,  $R_{t,m}$ ,  $R_{tz}$  - соответственно предел прочности на растяжение бетона, растворной составляющей (далее - матрица), контактной зоны «матрица - заполнитель»;

$A_m$ ,  $A_{tz}$  - соответственно площадь разрыва по матрице и по контактной зоне;

$k$  - коэффициент, характеризующий сцепление матрицы с заполнителем,  $k = R_{tz}/R_{t,m}$ .

Поскольку

$$d = \sqrt[3]{\frac{6\varphi}{\pi}}, \quad (2)$$

где:

$\varphi$  - относительная объемная концентрация крупного заполнителя в бетоне (от 0,34 для самоуплотняющихся бетонов до примерно 0,5 для бетонов из жестких смесей),

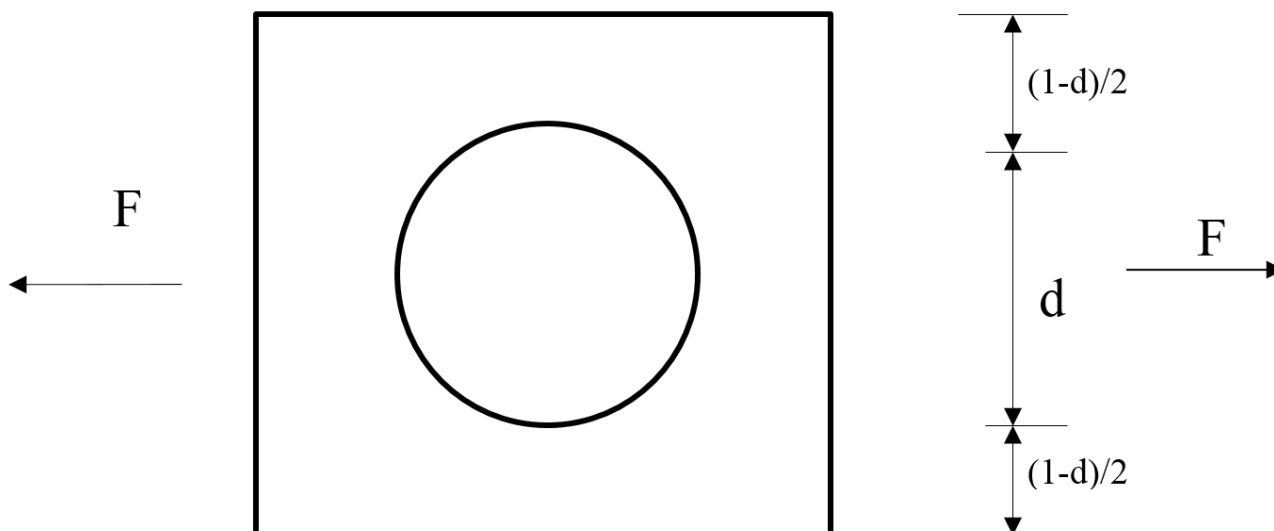
то ф. (1) можно представить в виде:

$$R_t = \left(1 - \frac{\pi \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{6\varphi}{\pi}}\right)^2}{4}\right) \cdot R_{t,m} + \pi \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{6\varphi}{\pi}}\right)^2 \cdot R_{t,m} \cdot k, \quad (3)$$

откуда

$$k = \frac{\frac{R_t}{R_{t,m}} + \frac{\pi}{4} \left(\sqrt[3]{\frac{6\varphi}{\pi}}\right)^2 - 1}{\pi \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{6\varphi}{\pi}}\right)^2}. \quad (4)$$

Отметим, что в исследованиях Ларионовой З.М. [10], а также Лысенко Е.И. для изучения свойств контактной зоны цементного камня с различными заполнителями изготавливались образцы-кубы с ребром 30 мм из цементного теста, в которые при формовании укладывалось зерно заполнителя размером от 15 до 20 мм, т.е. использовалась физическая модель, подобная представленной на рис. 2. Различие состояло в том, что заполнитель в физической модели имел неопределенную форму.



**Рисунок 2.** Модель элементарной ячейки «растворная составляющая - заполнитель»  
(разработано автором)

Как известно, разрушение бетона при растяжении может происходить по следующим схемам:

- по растворной составляющей и контактной зоне (схема 1), если прочность заполнителя на растяжение превышает прочность сцепления в контактной зоне, что характерно для бетонов средних и низких классов на плотных заполнителях;
- по матрице и заполнителю, если прочность сцепления в контактной зоне выше прочности заполнителя на растяжение (схема 2), что характерно для бетонов на пористых заполнителях;
- по обеим схемам, если прочность сцепления матрицы с заполнителем сопоставима с прочностью заполнителя (схема 3), что характерно для высокопрочных бетонов.

Для схемы 1 применительно для бетонов низких и средних классов в рассматриваемой модели ф.(1) по ф.(4) определены значения коэффициента  $k$  по результатам измерения предела прочности бетона на осевое растяжение по представленным на рис. 1 данным. Приняты следующие допущения:

- величина В/Ц цементного камня условно принята равной величине В/Ц бетона минус 0,13 - значение, соответствующее водопотребности заполнителей;
- предел прочности цементного камня в зависимости от величины В/Ц определялся по формуле:

$$R_{цк} = 189 \cdot \exp\left(-3 \cdot \frac{B}{C}\right); \quad (5)$$

- соотношение между пределом прочности цементного камня на осевое растяжение и сжатие принято [19] равным:

$$R_t = 0,29 \cdot R_{цк}^{0,6}. \quad (6)$$

Расчетные значения предела прочности матрицы на осевое растяжение составили 3,96 МПа и 4,74 МПа для первой (В/Ц = 0,425) и второй групп (В/Ц = 0,327) бетонов на разных заполнителях.

Численный эксперимент, выполненный с применением модели  $\phi$ (4), показал:

- при величине  $\phi = 0,34$  (самоуплотняющиеся бетонные смеси) значение коэффициента  $k$ , характеризующего сцепление матрицы с крупным заполнителем, составило от 0,072 до 0,132 в бетонах с величиной В/Ц = 0,425 и от 0,062 до 0,149 в бетонах с величиной В/Ц = 0,327;
- при величине  $\phi = 0,43$  (высокоподвижные бетонные смеси) значение коэффициента  $k$ , характеризующего сцепление матрицы с крупным заполнителем, составило от 0,085 до 0,141 в бетонах с величиной В/Ц = 0,425 и от 0,076 до 0,156 в бетонах с величиной В/Ц = 0,327;
- при величине  $\phi = 0,34$  расчетное значение величины сцепления составило от 0,29 до 0,52 МПа в бетонах с величиной В/Ц = 0,425 и от 0,29 до 0,71 МПа в бетонах с величиной В/Ц = 0,327;
- при величине  $\phi = 0,43$  расчетное значение величины сцепления составило от 0,34 до 0,56 МПа в бетонах с величиной В/Ц = 0,425 и от 0,36 до 0,74 МПа в бетонах с величиной В/Ц = 0,327.

Из полученных результатов очевидно, что концентрация крупного заполнителя оказывает незначительное влияние на величину расчетного сцепления, что косвенно подтверждает достоверность модели. Некоторое снижение величины сцепления цементного камня с заполнителем в отдельных составах при более низком значении В/Ц может быть обусловлено более высокой в этом случае контракционной усадкой [22], способной вызывать нарушение сцепления.

Отметим, что в исследованиях [12] было выявлено влияние вида заполнителя на сцепление с цементным камнем и показано, в частности, что прочность сцепления может составлять от 0,38 прочности на растяжение цементного камня для таких пород, как диабаз, магнезит, до 0,77 для мрамора и 0,59 для гранита, т.е. изменение сцепление составляет до 2 раз. По данным [21] сцепление цементного камня с прочностью на осевое растяжение 4,4 МПа составила с полированной поверхностью гранита, известняка, песчаника от 0,6 до 0,9 МПа (относительное сцепление от 0,136 до 0,2), а при шероховатой поверхности порядка 1 - 1,8 МПа (относительное сцепление от 0,23 до 0,41), т.е. изменение сцепления также отмечено до 2 раз. По данным обзора, выполненном И. Каримовым ([dh@ufacom.ru](mailto:dh@ufacom.ru)), сцепления цементного камня с известняком и кварцем составляет от 2 до 2,5 МПа при шероховатой поверхности, а у гранита, песчаника от 1,5 до 2 МПа. Сопоставление приведенных выше данных с результатами, полученными в настоящем исследовании (отношение адгезии к пределу прочности матрицы на растяжение изменяется в диапазоне от 0,06 до 0,156, а величина сцепления составляет от 0,29 до 0,74 МПа, т.е. изменяется более чем в 2,5 раза) позволяет сделать заключение о пониженном сцеплении цементного камня с заполнителем в бетонах, изученных в настоящем исследовании. При изменении величины сцепления в 2,5 раза изменение предела прочности на осевое растяжение бетона по  $\phi$ (1) составит около 35%, что полностью согласуется с представленными на рис. 1 данными.

Таким образом, несмотря на некоторую условность модели  $\phi$ (1) и, соответственно, полученных количественных значений величины сцепления цементного камня с заполнителем, они не противоречат известным экспериментальным данным.

### Выводы

1. Предложена модель, описывающая зависимость предела прочности бетона при осевом растяжении от величины сцепления цементного камня с заполнителем и предела прочности цементного камня при осевом растяжении.

2. Значение сцепления цементного камня с различными заполнителями, слабо взаимодействующими химически с цементным камнем, по результатам измерения предела прочности бетонов, изготовленных с применением суперпластификаторов и различными значениями В/Ц, определенное с использованием предложенной модели, составило от 0,29 до 0,74 МПа, или от 0,06 до 0,156 относительно величины предела прочности цементного камня при осевом растяжении, что не противоречит известным результатам, полученным прямыми испытаниями.

3. Снижение предела прочности бетонов, изготовленных с применением заполнителей, слабо взаимодействующих химически с цементным камнем (граниты, гранодиориты), составило в среднем 18%, а максимальное значение 36% в сравнении со среднестатистическими данными.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. - М.: Издательство АСВ, 2006. - 368 с.
2. Каприелов, С.С. Новые модифицированные бетоны / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян. - М. ООО «Типография «Парадиз», 2010. - 258 с.
3. Макридин, Н.И. Структура, деформативность, прочность и критерий разрушения цементных композитов / Н.И. Макридин, Н.Н. Максимова. - Саратов, 2001. - 280 с.
4. Бабков, В.В. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов. - Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002 – 376 с.
5. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. -М.: Стройиздат, 1981. - 464 с.
6. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. - М.: Стройиздат, 1971. - 208 с.
7. Гладков, Г.И. Физико-химические основы прочности бетона / Г.И. Гладков. - М.: Изд-во АСВ, 1998. - 136 с.
8. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. - М.: Стройиздат, 1979. - 344 с.
9. Пинус, Э.Р. Контактные слои цементного камня в бетоне и их значение / Структура, прочность и деформации бетонов. М., 1966. - С. 45-49.
10. Ларионова, З.М. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона / З.М. Ларионова, Л.В. Никитина, В.Р. Гарашин. - М.: Стройиздат, 1971. - 161 с.

11. Красильников, К.Г., Ярлушкина С.Х. Физико-химические особенности адгезии и контактного взаимодействия цементного вяжущего и заполнителей бетонов / Физико-химическая механика материалов. Минск, 1977. - С. 27 - 35.
12. Журавлёв, В.Ф. Сцепление цементного камня с различными материалами/ В.Ф. Журавлев, Н.П. Штейерт // Цемент. № 5. С. 17 - 19.
13. Гордон, С.С. Структура и свойства тяжелых бетонов на плотных заполнителях / С.С. Гордон. - М.: Стройиздат, 1969. - 149 с.
14. Рыбьев, И.А. О контактной зоне цементного камня с заполнителем в бетоне / И.А. Рыбьев, Ю.В. Чеховский, С.М. Матъязов // Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении. - Белгород, 1989. - С. 5 - 6.
15. Ярлушкина, С.Х., Ерамян А.А., Ларионова З.М. Влияние минералогического состава заполнителей на формирование структуры и механические свойства контактной зоны бетона / Физико-химические исследования цементного камня и бетона. - М.: НИИЖБ, 1972, вып. 7.
16. Scrivener Karen L., Crumby Alison K., Pratt P.L. A Study of the Interfacial Region between Cement Paste and Aggregate in Concrete // Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec.2 - 4, 1987. - Pittsburgh (Pa), - 1988. - pp. 87-88.
17. Skalny J., Mindess S. Physico-chemical Phenomena at the Cement Paste. Aggregate Interface // 10th Int. Symp. React. Solids, Dijon, 27 Aug - 1 Sept., 1984. - Dijon. - 1984. - pp. 223-224.
18. Несветаев, Г.В. Анализ материалов для производства бетонов классов В40 и выше во Вьетнаме / Г.В. Несветаев, Ву Ле Куен // Интернет-журнал «Наукоедение». Т.7. №3. 2015. <http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN315.pdf>.
19. Несветаев, Г.В., К созданию нормативной базы деформаций бетона при осевом нагружении / Г.В. Несветаев // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 1996. - №8. - С. 122.
20. Несветаев Г.В. Бетоны [Текст]: учебное пособие для вузов. - изд. 2-е, доп. и перераб. - Ростов н/Д: Феникс, 2013. - 381 с.
21. Bertacchi P. Adherence Entre Aggregate et Ciment et son Influence sur les Caracteristiques des Betons // Rev. des Mater. de Const. - 1970. - № 659 - 660. - pp. 243 - 249.
22. Несветаев, Г.В. Прочность цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении / Г.В. Несветаев, Г.С. Кардумян // Бетон и железобетон. - 2013. - №5. - С. 6 - 8.



**Nesvetaev Grigory Vasilievich**

Rostov state technical university, Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: nesgrin@yandex.ru

**Vu Le Quyen**

Hanoi architectural university, Vietnam, Hanoi  
E-mail: lequyenvu.hau@gmail.com

## **Model for estimating the bonding of cement stone with aggregate in terms of the tensile strength of concrete**

**Abstract.** In the article a model describing the dependence of the ultimate strength of concrete in axial tension on the adhesion value of cement stone to aggregate and the ultimate strength of cement stone for axial tension is proposed. According to the data on the change in the tensile strength of concrete made with the use of superplasticizers at different values of V/C and on various coarse and fine aggregates chemically weakly interacting with cement stone (granites, granodiorites), the value of bond between cement stone and aggregates estimated from 0,29 to 0,74 MPa, or from 0,06 to 0,156 relative to the value of the tensile strength of cement stone for axial tension. Analysis of the literature data showed that in direct tests on the adhesion of cement stone (manufactured without superplasticizers) with similar coarse aggregates, the adhesion values are for granites, depending on the surface type was equal from 0,6 to 1,8 MPa or from 0,136 to 0,59 relative to the tensile strength of cement stone. Decrease in the tensile strength of concrete made with the use of aggregates weakly interacting chemically with cement stone (granites, granodiorites) was equal averaged 18% and maximum 36% in comparison with the average statistical data.

**Keywords:** concrete; tensile strength; cement stone; aggregates; adhesion; model

### **REFERENCES**

1. Bazhenov, Yu.M. Modified high-quality concretes / Yu.M. Bazhenov, V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov. - M.: Publishing house ASV, 2006. - 368 p.
2. Capriellov, S.S. New modified concrete / SS. Kapriellov, A.V. Sheinfeld, G.S. Kardumyan. - Moscow. LLC "Typography "Paradise", 2010. - 258 p.
3. Makridin, N.I. Structure, Deformation properties, Strength and Criterion of Destruction of Cement Composites / N.I. Makridin, N.N. Maksimov. - Saratov, 2001. - 280 p.
4. Babkov, V.V. Structure formation and destruction of cement concretes / V.V. Babkov, V.N. Mokhov, S.M. Kapitonov, P.G. Komokhov. - Ufa: State Unitary Enterprise "Ufa Polygraph Combine", 2002 - 376 p.
5. Akhverdov, I.N. Fundamentals of physics of concrete / I.N. Akhverdov. - Moscow.: Stroizdat, 1981. - 464 p.
6. Berg, O.Ya. High-strength concrete / O.Ya. Berg, E.N. Scherbakov, G.N. Pisanko. - Moscow: Stroizdat, 1971. - 208 p.
7. Gladkov, G.I. Physicochemical foundations of concrete strength / G.I. Gladkov. - Moscow: Publishing House of the DIA, 1998. - 136 p.
8. Sheikin, AE, Structure and properties of cement concretes / A.E. Sheikin, Yu.V. Chekhovsky, M.I. Brusser. - Moscow: Stroizdat, 1979. - 344 p.

9. Pinus, E.R. Contact layers of cement stone in concrete and their significance / Structure, strength and deformation of concrete. Moscow., 1966. - P. 45-49.
10. Larionov, Z.M. Phase composition, microstructure and strength of cement stone and concrete / Z.M. Larionova, L.V. Nikitina, V.R. Garashin. - Moscow.: Stroizdat, 1971. - 161 p.
11. Krasilnikov, K.G., Yarlushkina S.Kh. Physico-chemical features of adhesion and contact interaction of cement binders and aggregates of concrete / Physico-chemical mechanics of materials. Minsk, 1977. - P. 27 - 35.
12. Zhuravlyov, V.F. Clutch cement stone with various materials / V.F. Zhuravlev, N.P. Steyert // Cement. № 5. P. 17 - 19.
13. Gordon, S.S. Structure and properties of ordinary concretes on dense aggregates / S.S. Gordon. - Moscow: Stroizdat, 1969. - 149 p.
14. Rybiev, I.A. On the contact zone of cement stone with aggregate in concrete / IA. Rybiev, Yu.V. Chekhovsky, S.M. Matyazov // Fundamental Research and New Technologies in Building Materials Science - Belgorod, 1989. - P. 5 - 6.
15. Yarlushkina, S.Kh., Eramyan A.A., Larionova Z.M. Influence of mineralogical composition of aggregates on the formation of structure and mechanical properties of the contact zone of concrete / Physico-chemical studies of cement stone and concrete. - Moscow.: NIIZHB, 1972, band. 7.
16. Scrivener Karen L., Crumbie Alison K., Pratt P.L. A Study of the Interfacial Region between Cement Paste and Aggregate in Concrete // Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec.2 - 4, 1987. - Pittsburgh (Pa), - 1988. - pp. 87 - 88.
17. Skalny J., Mindess S. Physico-chemical Phenomena at the Cement Paste. Aggregate Interface // 10th Int. Symp. React. Solids, Dijon, 27 Aug - 1 Sept., 1984. - Dijon. -1984. - pp. 223 - 224.
18. Nesvetaev, G.V. Analysis of materials for the production of concrete class B40 and higher in Vietnam / G.V. Nesvetayev, Wu Le Kuen // Internet-journal "Naukovedenie". T.7. No. 3. 2015. <http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN315.pdf>.
19. Nesvetaev, G.V., To the creation of the normative base of concrete deformations under axial loading / G.V. Nesvetaev // News of Higher Educational Establishments. Building. - 1996. - № 8. - P. 122.
20. Nesvetaev G.V. Concrete [Text]: a textbook for high schools. - ed. 2 nd, ext. And pererab. - Rostov n/D: Phoenix, 2013. - 381 p.
21. Bertacchi P. Adherence Entre Aggregate et Ciment et son Influence sur les Caracteristiques des Betons // Rev. des Mater. de Const. - 1970. - №659 - 660. - pp. 243 - 249.
22. Nesvetaev, G.V. Strength of cement stone with superplasticizers and organomineralic modifiers, taking into account its own strains during hardening / G.V. Nesvetayev, G.S. Kardumyan // Concrete and reinforced concrete. - 2013. - №5. - P. 6 - 8.