

УДК 662.613.13.

СТРУКТУРНАЯ ПРОЧНОСТЬ ЗОЛОБЕТОНОВ

*д.т.н., проф. Савицкий Н.В., к.т.н., доц. Павленко Т.М., асп. Аббасова А.Р.
ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и
архитектуры", г. Днепрпетровск*

Постановка проблемы. Вакуумная обработка золобетонов рассматривается впервые. Известны преимущества и возможности вакуумной обработки при вакуумировании обычных бетонов. Это высокая структурная прочность свежеспрессованного вакуумбетона, интенсивное твердение бетона в начальные сроки, значительное повышение прочности в проектном возрасте и др. Настоящая работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям по структурной прочности и прочности в 28-ми суточном возрасте золобетонов. Эти показатели являются важнейшими при формировании сборных или монолитных конструкций с немедленной распалубкой, кроме этого до сих пор не известно как немедленная распалубка влияет на рост прочности золобетонов во времени.

Исследования выполнялись в рамках программы научно-исследовательских работ Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры: госбюджетная тема Министерства образования и науки Украины «Разработка составов и технологии производства эффективных строительных материалов и изделий по энергосберегающим технологиям и исследование их свойства» (государственный регистрационный номер 0111U006476, 2011-2015 гг.).

Анализ публикаций. Наиболее обширные исследования по начальной (структурной) прочности свежеспрессованного вакуумбетона на обычных заполнителях выполнены Гершбергом О.А., Десовым А.Е., Гордоном С.С. [1]. Ими доказано, что уже непосредственно по окончании вакуумирования вследствие уплотнения структуры достигается начальная прочность бетона порядка 0,3...0,5 МПа. Такой бетон хорошо сохраняет приданную ему в процессе бетонирования форму, допускает немедленную обработку отвакуумированной поверхности (затирку, железнение и др.) и частичную распалубку – снятие боковых щитов, а для некоторых бетонных и железобетонных изделий немедленную полную распалубку.

Доказано, что ускоряется твердение бетона вследствие интенсификации процессов гидратации. Прочность при сжатии в возрасте 1...2 суток увеличивается на 40...60%, а в возрасте 5...7 суток – на 35...40%. Еще больше заметно увеличение прочности в раннем возрасте при твердении вакуумированного бетона в условиях пониженных положительных температур [1, 2].

Ускорение твердения бетона в раннем возрасте и соответствующее сокращение сроков распалубки позволяют увеличить оборачиваемость опалубки. Это относится, например, к бетонированию сводчатых покрытий и туннелей, возводимых с применением катучей опалубки, бетонированию вертикальных конструкций в переставной опалубке, устройству бетонных

облицовок каналов при помощи передвижной инвентарной опалубки и т.д. [2, 3].

Теоретическое обоснование высокой структурной прочности вакуумбетона на обычных заполнителях получено в исследованиях проф. Сторожука Н.А. [4].

Цель работы. Исследование и теоретическое обоснование структурной прочности золобетонных, изменение прочности этих бетонов во времени.

Основной материал. В виброуплотненном золобетоне из пластичной смеси обычно вода, заключенная в капиллярах и неограниченная менисками, является свободной (обычной) водой, за исключением тончайшего слоя воды, адсорбционно связанной у стенок капилляров. Однако, при наличии менисков давление пара в капилляре отлично от его давления над плоской поверхностью, и поэтому вода в нем находится в напряженном состоянии.

Вода смачивает частицы твердой фазы золобетона, поэтому в капиллярах образуются вогнутые мениски и, соответственно, давление пара над ними будет пониженным. Это давление пара формально характеризует энергию связи капиллярной воды, определяемой не взаимодействием твердой поверхности с водой, а действием искривленного мениска. Эта энергия капиллярной связи не зависит от природы стенок капилляра в условиях полного смачивания.

Стремление вогнутого мениска уменьшить свою поверхность создает в капиллярах пониженное давление, вызывающее некоторое уменьшение плотности воды (жидкости), в отличие от адсорбционно поглощенной воды, которая находится в сжатом состоянии. Стенки капилляра испытывают действие капиллярных сил, стремящихся вызвать их сжатие, и находятся в сложноподвижном состоянии.

Исходя из вышеизложенного, структурная прочность и в дальнейшем прочность золобетона будут зависеть от доли воды затворения, находящейся в напряженном состоянии, а также величины ее напряжения.

При этом необходимо учитывать, что во время вакуумирования удаление воды из данного капилляра бетонной смеси будет происходить только в том случае, когда разностью давлений на концах капилляра будет преодолено капиллярное давление, зависящее от размеров и характера капилляров. В свою очередь размеры и характер капилляров определяются составом и свойствами золобетонной смеси. При прочих равных условиях скорость удаления части воды затворения при вакуумировании зависит и от ее вязкости.

Это наглядно видно из рис. 1а, на котором схематически изображена часть капилляра с сужениями и расширениями. Предусматривается (пренебрегая действием сил тяжести), что в данном случае существует равновесие между давлением, действующим в направлении стрелки, и капиллярными силами, направленными в обратную сторону и обусловленными различными сечениями капилляра по его длине. На основании геометрических соображений для рассматриваемого случая можно написать уравнение [5]:

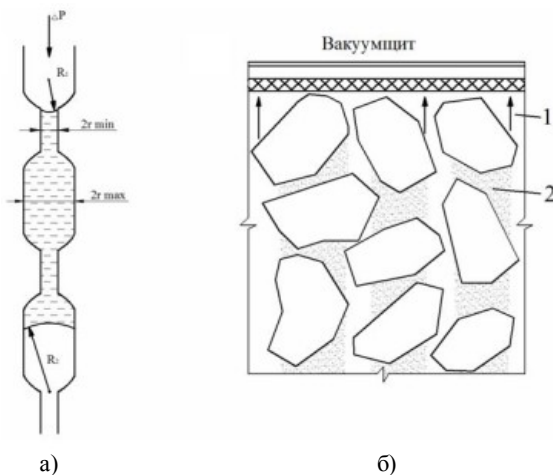
$$\Delta P = 2\sigma \left(\frac{1}{r_{\min}} - \frac{1}{r_{\max}} \right), \quad (1)$$

где σ – поверхностное натяжение;

r_{\max} – радиус наибольшего сечения капилляра;

r_{\min} – радиус самого узкого сечения капилляра.

Уравнение (1) показывает, что величина ΔP уменьшается при увеличении минимального радиуса капилляра и понижении поверхностного натяжения воды.



*Рис. 1. Взаимосвязь между разностью давлений и капиллярными силами при вакуумировании бетонной смеси:
1 – зоны удаления воды; 2 – зоны застойной жидкости*

Не вся вода затворения бетонной смеси подвергается в одинаковой мере действию разности давлений [6]. Из рис. 1б видно, что при градиенте давления (направление указано стрелкой) удаляться при вакуумировании будет только та вода, которая находится в зонах 1. Вода, находящаяся в зонах 2 перемещаться в бетонной смеси не будет, так как она не подвергается действию разности давлений в направлении ее возможного перемещения между частицами (образуются зоны застойной жидкости). Из этого можно сделать вывод, что при вакуумировании обезвоживание бетонной смеси происходит неравномерно не только по высоте формируемого изделия (образца), но и в плоскости параллельной вакуумщику (вакуумному устройству). Для устранения этого явления бетонную смесь следует периодически "перемешивать" (вибрировать).

Известные закономерности, относящиеся к капиллярным трубкам, заполненным жидкостью (рис. 2а), можно в основном распространить и на бетонную смесь, уплотняемую вакуумированием [4]. С учетом этого модель свежесжатой вакуумированной смеси представлена на рис. 2б. Вода в капиллярах напряжена и находится в растянутом состоянии, а твердая фаза – сжата. Это одна из основных причин высокой прочности свежесформованного вакуумбетона. С учетом изложенного, капиллярное давление (обжатие) нами выражено эпюрой нагрузки, приложенной к каркасу твердой фазы (рис. 3). Такое давление представляет собой поверхностную силу, которая направлена нормально к поверхности менисков (внутри объема капиллярной воды) и определяется их кривизной. Чем больше капиллярное давление (обжатие твердой фазы), тем большей будет структурная прочность свежесформованного вакуумированного бетона.

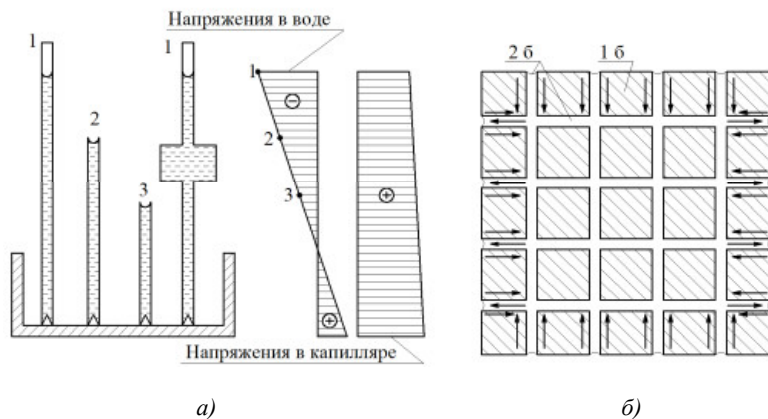


Рис. 2. Капиллярные явления в трубах малого диаметра и в бетонной смеси: а) напряженность воды в капиллярах; б) модель уплотненной вакуумированной смеси; 1б – твердая фаза бетонной смеси, 2б – капилляры

Можно предположить, что структурная прочность свежесформованных образцов бетона из жесткой бетонной смеси, уплотненной вибрационным способом, будет намного меньше, чем у вакуумбетона – в виброуплотненном бетоне мениски капилляров имеют малую кривизну, так как они практически соединены между собой на поверхности бетона сплошной пленкой воды и находятся в менее напряженном состоянии, чем в отвакуумированном бетоне.

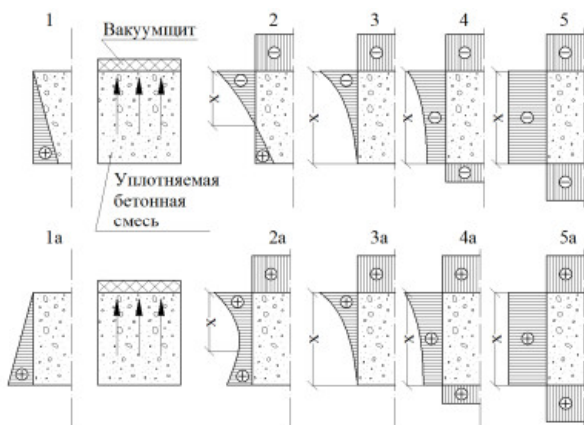


Рис. 3. Влияние вакуумной обработки на состояние воды затворения и твердой фазы бетонной смеси: 1, 2, 3, 4, 5 – последовательность напряжения воды в капиллярах уплотняемой бетонной смеси; 1а, 2а, 3а, 4а, 5а – соответственно, последовательность обжата водой твердой фазы смеси; х – глубина распространения вакуума

Выводы, полученные на основании теоретических исследований, нашли экспериментальное подтверждение в наших опытах. Плотность и прочность золобетонов определялась на образцах $150 \times 150 \times 70$ мм, которые испытывались "на ребро". При формировании образцов продолжительность вакуумной обработки при разрезении 0,70...0,75 (полный вакуум принят за единицу) составила 10 мин. С целью разрушения направленных капилляров и сводообразования в процессе вакуумирования осуществляли кратковременное периодическое вибрирование. Для сравнения из того же состава, что и вакуумбетон (при том же содержании составляющих) приготавливалась жесткая смесь, из которой вибрационным способом с пригрузом 0,006 МПа формовали те же образцы. Результаты испытаний показали (табл. 1), что структурная прочность свежетоформованного вакуумзолобетона выше в 5...6 раз, чем у виброуплотненного золобетона из жесткой смеси при одном и том же В/Ц, практически одинаковых расходах цемента и плотности. Так, в наших опытах структурная прочность свежетоформованного вакуумзолобетона составила 0,1...0,14 МПа, а виброуплотненного (жесткого) – 0,02...0,03 МПа. Это является важнейшей особенностью вакуумированных золобетонов. Как отмечалось ранее, такая высокая прочность свежетоформованных вакуумбетонов по данным Р. Лермита [2] позволяет формировать сборные или монолитные конструкции с немедленной распалубкой достаточно большой высоты (на этаж и более). Это характеризует высокую надежность вакуумной технологии изделий и конструкций из золобетонов.

Таблица 1

Плотность и структурная прочность золобетонов в зависимости от их состава и способа уплотнения

Состав золобетонов (Ц : З)	В/Ц		Плотность, кг/м ³		Структурная прочность, МПа	
	Вибро- уплотнен- ного	Виброва- куумиро- ванного	Вибро- уплотнен- ного	Виброва- куумиро- ванного	Вибро- уплотнен- ного	Виброва- куумиро- ванного
1 : 3	1,59	1,59	1570	1606	0,03	0,14
1 : 4	1,53	1,53	1547	1588	0,02	0,10
1 : 5	1,46	1,46	1532	1561	0,018	0,08

Естественно предположить, что немедленная распалубка конструкций будет оказывать некоторое влияние и на прочность золобетонов в 28-ми суточном возрасте. Поэтому для проверки этого предположения были отформованы образцы с немедленной распалубкой из золобетонной смеси состава 1 : 4 (цемент : зола) (табл. 1) с целью определения прочности в указанном возрасте. Материалы для приготовления золобетонной смеси, режимы формования, а также размеры образцов приняты такими же, как и в предыдущих опытах.

Для сравнения так же формовали вибровакуумированием и вибрированием партию образцов, распалубка которых осуществлялась через сутки после формования. Все образцы твердели 28 суток в нормальных условиях. Затем определяли предел прочности при сжатии. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Плотность свежесформованных и прочность в 28-ми суточном возрасте вибровакуумированных и виброуплотненных золобетонов

Вид золобетонов	В/Ц	Время распалубки	Плотность, бетонов, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
Вибровакуумированный	1,53	Немедленная	1605	13,4
Виброуплотненный	1,53	Немедленная	1563	8,6
Вибровакуумированный	1,53	Через сутки после формования	1588	13,6
Виброуплотненный	1,53	Через сутки после формования	1547	10,2

Образцы, отформованные вибрационным способом из жесткой бетонной смеси с немедленной распалубкой, имеют прочность меньшую на 14...16% в сравнении с прочностью таких же образцов, но освобожденных из форм через сутки после формования.

Такое снижение прочности виброуплотненных образцов, отформованных с немедленной распалубкой, объясняется частичным разрушением их структуры в начальный период твердения под действием гравитационных сил из-за недостаточного обжатия капиллярными силами твердой фазы.

У вибровакуумированных образцов, отформованных с немедленной распалубкой, не наблюдается снижение прочности в сравнении с прочностью образцов, освобожденных из форм через сутки после формирования.

Кроме этого, следует также особо отметить, что прочность вибровакуумированных образцов, отформованных с немедленной распалубкой, оказалась на 50...56% большей в сравнении с прочностью виброуплотненных из жестких золобетонных смесей, тоже отформованных с немедленной распалубкой.

Приведенные данные свидетельствуют о преимуществах вибровакуумированного золобетона перед виброуплотненным из жестких бетонных смесей, о высокой надежности технологии при формировании изделий и конструкций с немедленной распалубкой.

Выводы. Доказано, что важнейшей особенностью свежееотформованного вакуумированием золобетона является его высокая структурная прочность за счет капиллярного обжатия твердой фазы водой затворения (жидкой фазой).

По абсолютным показателям она является в 5...6 раз большей, чем у виброуплотненного золобетона из жесткой смеси при тех же В/Ц и расходах цемента. Это существенно повышает надежность технологии при формировании конструкции из вакуумзолобетон с немедленной распалубкой. При такой технологии вакуумированный золобетон имеет прочность в 28-ми суточном возрасте на 50...56% большую в сравнении с виброуплотненным золобетонном из жесткой смеси. Это обеспечивает значительную экономию цемента при получении равнопрочных бетонов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гершберг О.А. Вакуумирование бетона в монолитных конструкциях / О.А. Гершберг. – М.: Гостройиздат, 1952 – 60 с.
2. Лермит Р. Проблемы технологии бетона / Р. Лермит. – М.: Госстройиздат, 1959. – 294 с.
3. Скрамтаев Б.Г. О вакуумировании бетона / Б.Г. Скрамтаев. – Бетон и железобетон, 1965, № 12. С. 42-44.
4. Сторожук Н.А. Вакуумирование бетонных смесей и свойства вакуумбетона / Н.А. Сторожук – Д.: Пороги, 2008. – 251 с.
5. Аравин В.И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / В.И. Аравин, С.Н. Нумеров. – М.: Гостехиздат, 1953. – 616 с.
6. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде / Л.С. Лейбензон. – М. – Л.: Гостехиздат, 1947. – 244 с.
7. Кристеа Н. Подземная гидравлика. Том 1 / Н. Кристеа. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 343 с.