

## Экспериментальные исследования

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И УРОВНЯ НАБОРА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, УЛОЖЕННОГО В СТАЛЬНУЮ НЕСЪЕМНУЮ ОПАЛУБКУ

А.А. ГАСИЕВ\*, аспирант,

З.У. БЕППАЕВ\*\*, к.т.н.,

Ю.М. ХАСАУОВ\*\*\*, к.т.н., доцент

\*ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,

e-mail: gasiev@bk.ru ; +7(926) 468-46-26;

\*\*НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,

e-mail: beton61@mail.ru; +7(905) 530-74-73;

\*\*\* ИТФ КБГУ им. Х.М. Бербекова,

e-mail: hassau@mail.ru, тел. +7(928) 077-01-55

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований скорости набора прочности бетона, уложенного в систему стальной несъемной опалубки. Описана конструкция системы стальной несъемной опалубки (СНО). Приведена методика проведения испытаний, описаны экспериментальные образцы и испытательное оборудование. По результатам испытаний проведено сравнение скорости твердения бетона уложенного в традиционную опалубку и бетона уложенного в СНО. Результаты проведенных испытаний показали, что бетон, уложенный в систему СНО, набирает прочность быстрее, нежели бетон, уложенный в традиционную опалубку. Описаны причины выявленного эффекта ускорения набора прочности, описаны некоторые физические характеристики бетона уложенного в систему СНО.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стальная несъемная опалубка (СНО), скорость твердения бетона, бетон, традиционная опалубка, прочность бетона, испытания

#### **Введение**

Проблема повышения надежности конструкций при строительстве в сейсмических районах является текущей актуальной задачей. Для ее решения ведущими исследовательскими институтами нашей страны проводится активная работа по изучению и внедрению новых строительных технологий появляющихся на отечественном и мировом рынке. В ЦНИИП Минстроя РФ проведены комплексные исследования по применению стальной несъемной опалубки (СНО), описание которой и возможности применения в сейсмических районах Российской Федерации приведены в работах [1-2]. Общий вид конструкции СНО показаны на рис. 1.

Основу опалубки (в классическом варианте) составляют панели из поперечно-вытяжной гофрированной сетки (ПВГС) из оцинкованной листовой стали толщиной 0,55-0,70 мм, выполненной методом штампования с последующей прокаткой и вытяжкой полученного штампа. Размер и форма отверстий сетки оптимизируется и подбираются исходя из условия, что основная масса наиболее мелкой фракции заполнителя при заливке и вибрировании бетонной смеси удерживается внутри заполняемой полости опалубки, за счет сил сцепления и внутреннего трения бетонной смеси. Эффективность технологии изготовления конструкций достигается тогда, когда на ее внешнюю поверхность выступает количество бетонной смеси, необходимое и достаточное для образования защитного (затирочного) слоя.

По ширине сетки, для ограничения выгибов под силами давления бетонной смеси из плоскости возводимой конструкции, при прокатке стальной сетки СНО предусматриваются продольные ребра жесткости в виде треугольной гоф-

ры с расстоянием между ними 100 мм. Специфика их изготовления заключается в том, что между каждым ребром жесткости имеется симметричное число отверстий в виде елочки, с изменением угла наклона (примерно 30°) через каждые два ряда отверстий. Сами отверстия имеют ромбическую форму с размерами грани 8 x 8 мм.

Использование сетки в качестве СНО позволяет ее закрепление на вертикальные стойки в виде холоднокатаного профиля (например, шириной полки 18 мм, толщиной – 0,8 мм и высотой стенки профиля – 50 мм). Повышение жесткости и устойчивости во время монтажа достигается изменением сечения и шага расположения профильных элементов, прикрепленных к сетке. Соединение панелей СНО между собой осуществляется с применением зигзагообразной проволоки.

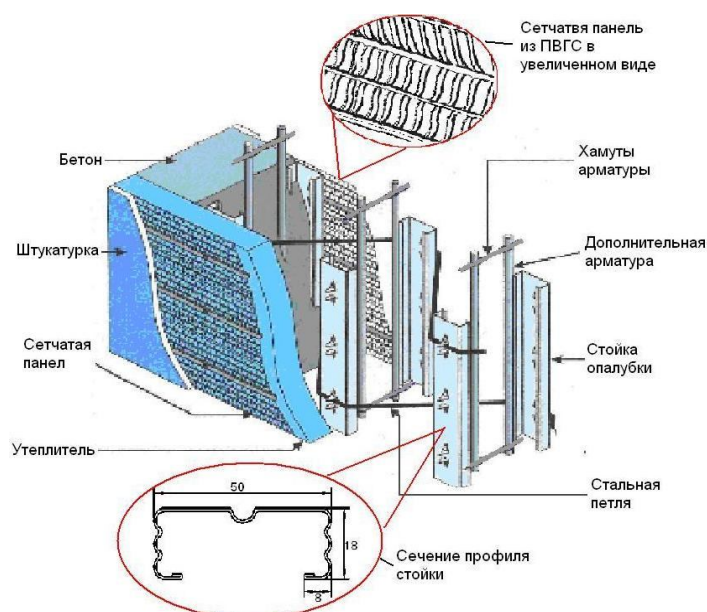


Рис. 1. Общий вид конструкции СНО

Конструкции опалубки для устройства монолитных стен, изготавливаемые в нашей стране, в развернутом виде имеют стандартный размер (планируемая толщина стены) от 160 мм до 320 мм. СНО выпускается шириной листа 1220 мм, не имея ограничений ни по протяженности, ни по высоте возводимых конструкций. При монтаже панели легко стыкуются между собой и изгибаются в любом направлении, что позволяет выполнять конструкции любых причудливых форм. Дополнительное армирование монолитного слоя стены (рубашки) выполняется, в случае необходимости, без особых усилий. В случае необходимости применения панелей с утеплителем (листы полистирола, пенопласта и пр.) они устанавливаются с внутренней стороны внешней грани стены между сеткой и стойкой СНО.

Настоящая работа является продолжением начатых ранее серий исследований возведенных с применением СНО. В данной статье, приведены результаты исследований одного из аспектов широкого ряда преимуществ СНО, а именно эффект прироста прочности бетона процесс твердения которого происходит в теле стальной СНО по сравнению с бетоном, твердеющим в обычной опалубке. По данным заявленным производителем системы прирост прочности бетона уложенного с систему СНО может составлять до 15% по сравнению с бетоном, уложенным в традиционную щитовую опалубку.

### Методика проведения испытаний

Для испытаний изготовлены 2 (две) серии образцов длиной  $l=100$  см, высотой  $h=100$  см, толщиной  $b=20$  см. Первую серию образцов (ОБ-1) изготовили по традиционной схеме с использованием классической щитовой опалубки. Во второй серии образцов (ОБ-2) бетонная смесь была уложена в матрицу, изготовленную с помощью СНО. Бетонная смесь в обоих случаях укладывалась вручную с последующим вибрированием вибробулавой. Общий вид и процесс изготовления образцов приведен на рисунке 2.



Рис. 2. Опытные образцы: а – изготовленные в традиционной опалубке, б – изготовленные с применением СНО

Для контроля скорости твердения бетона из образцов отбираются и испытываются керны, по три керны на каждом этапе твердения. Этапы твердения образцов разбиты на четыре контрольные даты: 7 суток, 14 суток, 21 сутки и 28 суток. Твердение образцов происходило в нормальных условиях при температуре в помещении  $18-20$  °С и влажности воздуха 78%. Распалубка образцов эталонной серии ОБ-1 осуществлялась на третьи сутки после заливки бетона. Керны из образцов выбуриваются алмазной коронкой. Размеры кернов отобранных для испытаний составляют  $h/d = 20/10$  см ( $h$  – высота керна,  $d$  – диаметр керна).

Общий вид отбора контрольных кернов из каждой серии образцов приведен на рис. 3.

### Материал образцов

Для изготовления опытных образцов применялась готовая бетонная смесь производства ЗАО «Русский железобетон» со следующими заявленными параметрами:

- класс бетона по прочности на сжатие в возрасте 28 суток – В20;
- коэффициент вариации – 13%;

- требуемая прочность – 26,2 МПа;
- вид и количество добавок – С-3, 2,9 кг;
- наибольшая крупность заполнителя – 20 мм;
- марка бетонной смеси по удобоукладываемости – ПЗ.

Контроль подвижности бетонной смеси осуществляли по стандартной методике, в соответствии с требованиями ГОСТ 10181.1-81. Осадка конуса для используемой смеси находилась в интервале 6-7 см.



Рис. 3. Отбор проб бетона из опытных образцов для определения прочности

Для контроля заявленной производителем прочности бетона дополнительно были изготовлены (рисунок 4) и испытаны стандартные образцы кубы в соответствии с требованиями ГОСТ 24452-80



Рис. 4. Изготовление контрольных кубиков для испытаний

Испытания образцов проводились на гидравлическом прессе ИП-1 модификации ИП 6013-2000-1 (Свидетельство о поверке № АА 6203089, действительно до 10.04.2016 г.) в лабораторном корпусе НИИЖБ им. А.А.Гвоздева

#### **Анализ результатов испытаний**

Анализ результатов экспериментальных исследований скорости твердения бетонной смеси, уложенной конструкции системы СНО, показывает следующее:

1. Как видно из табл.1 прочность бетона уложенного в систему СНО на 7 суток превышает прочность бетона уложенного в традиционную щитовую опалубку на 21,6%.

2. На приведенном графике твердения бетона (см. рис. 6), построенного по результатам испытаний видно, что прочность бетона, уложенного в систему СНО приближается к значению марочной прочности уже по истечению первых семи суток твердения.

3. Прочность бетона уложенного в систему СНО в 28 суток превышает прочность бетона уложенного в традиционную опалубку на 16,5% и практически соответствует вышестоящему классу.

4. Бетон уложенный в систему СНО имеет более высокую плотность по сравнению с бетоном в традиционной опалубке (в среднем выше на 5%), что свидетельствует о более высоком качестве и однородности получаемой структуры бетонного камня затвердевшего в системе СНО.

Таблица 1. Результаты испытаний экспериментальных серий образцов

№ п/п	Наименование серии	Время твердения, сут.	Размеры кернов h/d, см	Плотность образцов $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности бетона при сжатии МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии МПа	Повышение прочности бетона для соответствующего этапа твердения в %	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	ОБ-1	7	19/10	2290	20,5	20,97	-	
2				2250	21,5			
3				2280	20,9			
4		14		21	2300	24,5	24,33	-
5					2310	24,5		
6					2290	24,0		
7		21		28	2280	24,9	25,20	-
8					2300	25,5		
9					2310	25,2		
10		28		7	2320	25,8	26,43	-
11					2280	27,0		
12					2300	26,5		
13	ОБ-2	7	19/10	2320	26,1	25,50	21,6	
14				2350	25,4			
15				2340	25,0			
16		14		21	2380	28,8	28,70	18,0
17					2370	29,0		
18					2360	28,3		
19		21		28	2380	29,2	29,53	17,2
20					2400	29,4		
21					2390	30,0		
22		28		7	2380	31,2	30,80	16,5
23					2410	30,2		
24					2390	31,0		

Из теории бетона [6] известно, что структура бетона оказывает большое влияние на его прочность. Существенным фактором, влияющим на структуру бетона, является количество воды, применяемое для приготовления бетонной смеси, оцениваемое водоцементным отношением  $W/C$ . Для химического соединения с цементом необходимо чтобы  $W/C \approx 0,2$ . При этом для подвижных бетонных смесей, как в нашем случае, значение  $W/C \approx 0,5-0,6$ . Такой прием увеличения подвижности за счет повышения количества воды затворения негативно сказывается на структуре бетона в процессе его твердения.

Избыточная влага остается в «теле» бетона конструкции и в процессе дальнейшего твердения, испаряясь, инициирует образование многочисленных пор и капилляров в структуре цементного камня, что в целом уменьшает прочность и проницаемость бетона. Эта картина характерна для традиционной укладки бетона в щитовую опалубку, через которую излишняя влага бетонной смеси на первых этапах твердения остается в бетоне.

Совсем другая картина наблюдается в бетонной смеси, уложенной в систему СНО. Часть излишней влаги удаляется из тела конструкции через внешний щит из гофрированной сетки уже в процессе формования изделия, а в дальнейшем выдавливается из нее на ранних этапах твердения под влиянием силы тяжести.

Данное обстоятельство позволяет уменьшить пористость структуры бетона с соответственным увеличением его плотности. Таким образом, применение СНО (по сравнению с использованием традиционной щитовой опалубки) при возведении вертикальных, несущих бетонных и железобетонных конструкций увеличивает скорость твердения бетона его плотность и прочность.

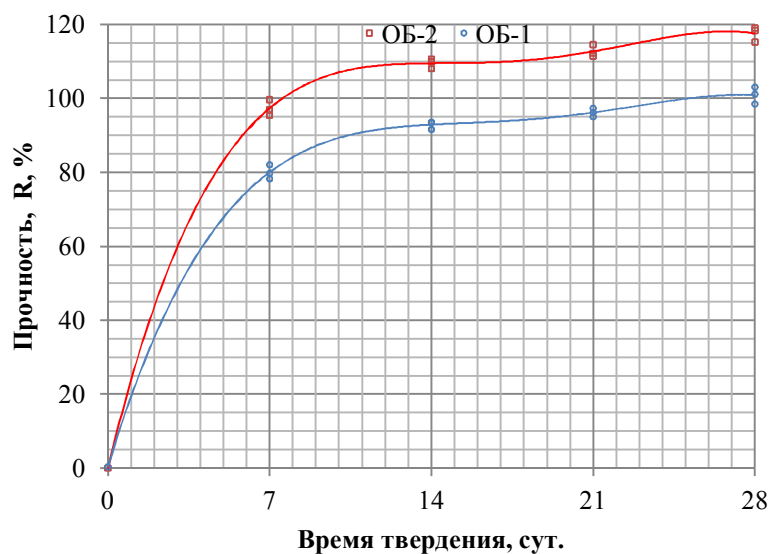


Рис. 6. Графики набора прочности бетона в испытанных сериях

### Заключение

В настоящей работе представлены результаты испытаний бетона уложенного в конструкцию системы стальной несъемной опалубки на основе вытяжной гофрированной сетки ПВГС.

Техническими испытаниями установлено, что бетон, уложенный в конструкцию СНО, имеет более высокие показатели прочности и качества по сравнению с бетоном, уложенным в традиционную опалубку.

О применении конструкций из бетона, уложенного в несъемную опалубку, можно узнать, например, из статьи [7].

*Проведенный эксперимент является частью комплексных исследований конструкций зданий на основе СНО, итоги которых будут опубликованы в следующих номерах журнала. При проведении работ по испытаниям принимал участие **БАЙКАЗИЕВ М.Х., АО «НИЦ «Строительство»**.*

#### Л и т е р а т у р а

1. Акбиев, Р.Т. Сейсмостойкость конструкций с использованием системы стальной несъемной опалубки / Р.Т. Акбиев, Я.М. Айзенберг, А.А. Гасиев, А.Ю. Першин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 4. С.44-47.
2. Акбиев, Р.Т. Сейсмостойкость кирпичных стен зданий усиленных стальной несъемной опалубкой / Р.Т. Акбиев, А.А. Гасиев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2012, – №3. – С. 48-53.
3. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний.
4. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.
5. ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона
6. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов // Общий курс. Учебник для вузов – 5-е изд. – М.: Стройиздат, 1991 – 767 с.
7. Verbruggen S., Remy O., Wastiels J., and Tysmans. Stay-in-place formwork of TRC designed as shear reinforcement for concrete beam// Advances in Materials Science and Engineering, Vol. 2013(2013), Articles ID 648943. – 9 p.

#### References

1. Akbiev, R.T., Aysenberg, Y.M., Gasiev, A.A., Pershin A.Yu. (2008). Seysmostoykost' konstruktziy s ispol'zovaniem sistemy stal'noy nesyomnoy opalubki, *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopastnost' sooruzheniy*, № 4, p.44-47.
2. Akbiev, R.T., Gasiev, A.A. (2012). Seysmostoykost' kirpichnyh sten zdaniy, usilennyh stal'noy nesyomnoy opalubkoy, *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopastnost' sooruzheniy*, № 3, p.48-53.
3. *GOST 10181-2014*, Smesi betonnyye. Metody ispytaniy.
4. *GOST 28570-90*. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po obrazzham, obovrannym iz konstruktziy.
5. *GOST 24452-80*. Betony. Metody opredeleniya prizmennoy prochnosti, modulya uprugosti i koeffitziента Puassona.
6. Baykov V.N., Sigalov, E.E. (1991). Zhelezobetonnyye Konstruktzii. Obschiy Kurs, 5<sup>th</sup> ed., Moscow: Stroyizdat, 767 p.
7. Verbruggen, S., Remy, O., Wastiels, J., and Tysmans. (2013). Stay-in-place formwork of TRC designed as shear reinforcement for concrete beam, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2013(2013), Articles ID 648943, 9 p.

### INVESTIGATION OF DYNAMICS AND LEVEL OF CONCRETE STRENGTH DEVELOPMENT LAID IN STEEL PERMANENT FORMWORK

Gasiev A.A., Beppaev Z.U., Hasauov U.M.

The article shows the results of experimental tests of speed of the concrete strength development, laid in a system of the steel permanent formwork. There has been described the structure of the steel permanent formwork. There has been provided a technology of tests execution and there have been described experimental samples and testing equipment. Based on the tests' results, there has been provided a comparison between hardening speed of concrete laid in the traditional formwork and concrete laid in the steel permanent formwork. The results of executed tests show that concrete laid in the system of the steel permanent formwork hardens faster than concrete laid in the traditional formwork. There have been described the reasons of detected defect of concrete hardening speed-up, there have been described some physical characteristics of concrete laid in the system of the steel permanent formwork.

KEY WORDS: steel permanent formwork, speed of concrete hardening, concrete, traditional formwork, concrete strength, tests.