

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»  
ОАО «ДНИИСП»**

Гос. аттестация научно-исследовательских предприятий, приказ Министерства образования и науки от 26.12.2003 г. №864.

Аттестат аккредитации испытательной лаборатории продукции строительного назначения ОАО «ДНИИСП» № UA 6.001. Т 155, действителен по 01 марта 2005 г. (Система сертификации УкрСЕПРО).

Лицензия АА №245854.



**УТВЕРЖДАЮ**

Председатель правления  
ОАО «ДНИИСП»

В.А.Моисеенко

2004.12.22

**О Т Ч Е Т**

0 научно-исследовательской работе

**«Проведение исследований по влиянию волокна армирующего полипропиленового - ВАП (фибры), ТУ У 32781078.002-2004, на свойства бетона».**

Руководитель НИР,  
зав. испытательной лабораторией


2004.12.20

А.В.Тельянов



## СПИСОК АВТОРОВ

Руководитель НИР  
Зав. испытательной лабораторией

  
2004.12.17


А.В.Тельянов  
(общая часть, раздел 2,  
выводы)

Ответственный исполнитель  
старший научн.сотрудник

  
2004.12.17

С.А.Деревянко  
(разделы 2,3)

Исполнитель  
Инженер

  
2004.12.17

А.А.Удовиченко  
(раздел 3)

## РЕФЕРАТ

Отчет о НИР: страниц 13, таблиц 5 и приложений 2.

Объект исследования: волокно армирующее полипропиленовое – ВАП (фибра), ТУ У 32781078.002-2004, изготавливаемое - ООО Предприятие материально-технического снабжения «СПЕЦСНАБ», ООО «ДИИФ», г. Днепропетровск.

Цель работы: установление влияния ВАП на основные физико-механические свойства тяжелого бетона – прочность, истираемость, водонепроницаемость и др.

При проведении испытаний пользовались стандартными методиками и оборудованием. Методы исследований отображены в методике испытаний.

В результате проведенной работы установлено, что ВАП значительно повышают прочностные свойства бетона, снижают почти на 50% истираемость, повышают водонепроницаемость и морозостойкость.

4  
СОДЕРЖАНИЕ

- 1 Общая часть
- 2 Методика проведения испытаний
- 3 Определение влияния ВАП (фибры) на свойства бетона.
  - 3.1 Динамика набора прочности. Предел прочности при сжатии.
  - 3.2 Предел прочности при изгибе.
  - 3.3. Истираемость
  - 3.4 Водонепроницаемость.
  - 3.5 Водопоглощение и коэффициент теплопроводности.
  - 3.6 Морозостойкость.
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

## 1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Общество с ограниченной ответственностью Предприятие Материально Технического Снабжения «СПИЦНАБ», головное предприятие Торгово-промышленной группы «Стандарт», г. Днепропетровск, производящее фильтрующие материалы на основе полипропиленовых волокон для тонкой очистки воздушных и газоздушных смесей от мелкодисперсной пыли и аэрозолей, наладило производство волокон армирующих полипропиленовых – ВАП (ФИБРА), ТУ У 32781078.002-2004.

Фибра применяется в строительном производстве, в частности для дисперсного армирования бетона, при этом обеспечивается ее равномерное распределение по всему объему.

Опыт строительных компаний Великобритании, Германии, США подтверждает улучшение физико-механических свойств строительных растворов и железобетонных конструкций с использованием полипропиленовых волокон.

Согласно заказу производителя был заключен договор с ОАО «ДНИИСП» №7-20/04 «Проведение исследований по влиянию ВАП (фибры) на свойства бетона». Сроки выполнения работ: октябрь-декабрь 2004 г.

Все виды испытаний проводились в испытательной лаборатории продукции строительного назначения, аккредитованной в системе УкрСЕПРО.

Все испытательное оборудование и средства измерительной техники поверены службами Государственных предприятий региональных научно-технических центров стандартизации, метрологии и сертификации городов Днепропетровска, Запорожья и Кривого Рога.

## 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа, согласно договора №7-20/04, предусматривает проведение исследований по определению влияния волокна армирующего полипропиленового ВАП (фибры) на основные физико-механические свойства тяжелого бетона: прочность при сжатии и изгибе, истираемость, водонепроницаемость, морозостойкость и др.

Для проведения сравнительных испытаний бетона были приготовлены 2 состава тяжелого бетона класса В 5:

- №1 – контрольный состав;
- №2 – в контрольный состав бетона введено дополнительно на 1 м куб. бетонной смеси 900 г фибры с длиной волокон 12 мм.

Расход компонентов бетона (кг на 1 м куб.) следующий:

Цемент ПЦ ШБ М 400 (Балаклейского цементного завода)	- 315
Песок	- 600
Щебень	- 1280
Вода	- 185.

С целью обеспечения качественного перемешивания бетонной смеси и, следовательно, обеспечения однородного распределения фибры в объеме бетона приготовление бетонных смесей №1и2 производилось в промышленных условиях, на бетонном участке предприятия ООО «Мастер ЖБК».

Введение фибры происходило по следующей методике:

В бетоносмеситель принудительного действия загружались отдозированные инертные компоненты бетонной смеси и фибра, перемешивание производилось в течение 1 мин, после чего вводился цемент и заливалась вода. Общее время перемешивания 5 минут.

В течение 2-х часов после приготовления из бетонных смесей №1 и №2 изготавливались бетонные образцы для проведения сравнительных испытаний. Размер образцов и их количество приведено в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Виды испытаний, размеры и количество образцов.

Виды испытаний	Количество кубов с ребром, мм			Призмы, 100x100x 400 мм
	70	100	150	
1 Динамика скорости набора прочности образцов (3,7,14,21 суток) и предел прочности при сжатии в 28 сут возрасте	-	15	-	-
2 Предел прочности при изгибе.	-	-	-	3
3 Истираемость.	3	-	-	-
4 Водонепроницаемость.	-	-	6	-
5 Водопоглощение.	-	3	-	-
6 Коэффициент теплопроводности.	-	-	3	-
7 Морозостойкость (8,13,20,30 и 45 ускоренно).	-	36	-	-
ИТОГО для каждого вида бетона:	3	54	9	3

Образцы забивались в металлических разъемных, смазанных отработанным машинным маслом формах на вибростоле с амплитудой колебаний  $0,5 \pm 0,1$  мм. Время вибрирования 10 секунд.

Первые трое суток образцам были обеспечены нормальные условия твердения в формах в производственных условиях путем плотного укрывания их целлофаном в помещении с температурой воздуха  $18-22$  °С.

По истечении 3-х суток образцы были извлечены из форм и доставлены в ИЛ ОАО «ДНИИСП». Где были помещены в камеру нормального твердения со следующими условиями: температура  $20 \pm 2$  °С; влажность  $90 \pm 5$  %.

Все показатели свойств, кроме динамики набора прочности, определяли в 28-суточном возрасте образцов.

Для определения показателей свойств пользовались методиками действующих в Украине нормативных документов. Наименование методик, нормативов и показателей приведено в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Методики проведения испытаний.

Определяемый показатель	Наименование НД на методы испытаний.
1 Предел прочности при сжатии и изгибе.	ГОСТ 10180-90. «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
2 Истираемость	ГОСТ 13087-87. «Бетоны. Методы определения истираемости».
3 Водонепроницаемость	ГОСТ 12730.5-84. «Бетоны. Метод определения водонепроницаемости».
4 Водопоглощение	ГОСТ 12730.3-78. «Бетоны. Метод определения водопоглощения».
5 Коэффициент теплопроводности.	ДСТУ Б В.2.7-41-95. «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности поверхностным преобразователем.»
6 Морозостойкость.	ДСТУ Б В.2.7-(47,49)-95. «Бетоны. Методы определения морозостойкости».

Краткая сущность методов испытаний приведена в каждом конкретном разделе.

Испытания образцов согласно методик НД проводилось с применением средств измерительной техники и оборудования, приведенных в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Тип и основные характеристики оборудования.

Наименование	Обозначение	Граница измерений	Ошибка измерений
1 Штангенциркуль	ИЩ № 407875	0-160 мм	± 0,05 мм
2 Весы	В-5000, №48	0,01-5,0 кг	± 0,1 г
3 Пресс гидравлический	ПСУ-125, №5776	5-125 тс	± 2 %
4 Универсальная разрывная машина	УМ-5, №334	10-5000 кгс	± 1 %
5 Прибор для определения водонепроницаемости.	АГАМА-2Р	от W2 до W12	-
6 Круг истирания	ЛКИ-2	-	-
7 Морозильная камера	№3	Мин.температура минус 20 °С	± 1 °С
8 Сушильный шкаф	№1	От 20 до 200 °С	± 1 °С
9 Прибор для определения теплопроводности	БИ-ТО21	(0,02-1) Вт/(м °К)	± 7 %

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАП (ФИБРЫ) НА СВОЙСТВА БЕТОНА.

Тяжелый бетон должен приобретать проектную прочность к определенному сроку и обладать другими качествами, соответствующими назначению изготавливаемой конструкции (водостойкость, морозостойкость, истираемость и т.д.). В конструкциях бетон может находиться в различных условиях работы, но основной характеристикой механических свойств бетона является его работа на сжатие, поэтому этот критерий является определяющим.

#### 3.1 ДИНАМИКА НАБОРА ПРОЧНОСТИ. ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ.

Прочность бетона нарастает в результате физико-химических процессов взаимодействия цемента с водой. При нормальных условиях (НУ) твердения бетон постепенно набирает прочность и к 28 суткам приобретает марочную прочность, причем в первые 3-7 сут. прочность бетона растет более интенсивно и на 7-е сутки составляет 60-70 % марочной прочности. На динамику набора прочности могут влиять и добавки, вводимые в состав бетона.

Твердение исследуемых бетонов проводилось в НУ, образцы были изготовлены 22.10.04 и испытания на прочность при сжатии проводились в период с 25.10 по 19.11.04 г.

При испытании кубы замеряются, взвешиваются и устанавливаются на нижнюю опорную плиту пресса, затем совмещают верхнюю плиту пресса с верхней опорной гранью образца и нагружают его до разрушения.

Расчет прочности по формуле:

$$R = a \cdot F/A, \text{ где}$$

a - масштабный коэффициент для приведения прочности к базовому образцу (15 см), равный 0,95;

F – разрушающая нагрузка, кгс;

A – площадь рабочего сечения образца, см<sup>2</sup>.

Результаты испытаний приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Номер образца	Возраст бетона, сутки	Размеры, см	Масса, г	Плотность, кг/м куб.	Разрушающая нагрузка, кгс	Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup>
<i>Бетон без фибры</i>						
1-1 1-2	3	10,05x10,05x10 10,1x10,0x10,05	2450 2420	2426 2380	6700 6900	63,0 64,9 <b>ср.= 64,0</b>
1-3 1-4	7	10,0x9,9x10,1 9,9x10,1x10,0	2435 2440	2435 2440	13600 15000	130,0 142,5 <b>ср.= 136,0</b>
1-5 1-6	14	10,0x10,0x10,1 10,05x10,0x10,3	2400 2510	2376 2365	17000 17600	162,0 162,0 <b>ср.=162,0</b>
1-7 1-8	21	10,0x10,0x10,05 10,0x10,0x10,0	2500 2450	2487 2450	25000 25100	238,0 238,0 <b>ср.= 238,0</b>
1-9 1-10 1-11	28	10,0x10,0x10,2 10,0x10,0x10,1 10,05x10,1x10,0	2460 2440 2455	2411 2416 2418	24200 24600 25100	230,0 233,0 235,0 <b>ср.= 232,0</b>
<i>Бетон с фиброй</i>						
2-1 2-2	3	10,05x10,0x10,2 10,1x10,1x10,3	2480 2455	2385 2383	10200 10000	95,0 94,0 <b>ср.= 94,5</b>
2-3 2-4	7	10,1x10,3x10,1 10,2x10,0x10,1	2485 2435	2365 2363	18300 17000	167,0 158,0 <b>ср.= 162,5</b>
2-5 2-6	14	10,2x10,0x10,3 10,05x10,4x10,2	2475 2480	2355 2326	19900 21000	185,0 191,0 <b>ср.= 188,0</b>
2-7 2-8	21	10,15x10,1x9,9 10,2x10,05x10,1	2455 2465	2419 2380	27500 26600	256,0 248,0 <b>ср.= 252,0</b>
2-9 2-10 2-11	28	10,0x10,0x10,2 10,1x10,1x9,9 9,9x10,0x10,1	2450 2400 2390	2401 2377 2390	27000 30400 32300	256,0 283,0 310,0 <b>ср.= 296,5</b>

В приложении 1, графически отображен набор прочности для бетонов №1 и №2.



Из результатов сравнительных испытаний, представленных в табл. 3.1 и отображенных графически на рис.1 видно, что прирост прочности у бетона с армирующим волокном выше и наблюдается на всем промежутке (от 3 до 28 суток). Особенно ощутимый прирост прочности у бетона с фиброй против бетона без фибры в первые 3-е суток (до 48 %), что важно технологически, а в 28-и суточном возрасте составляет 27,8 % по отношению к прочности бетона без фибры.

### 3.2 ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ.

Испытания проводились в 28 суточном возрасте бетона.

Для определения предела прочности при изгибе испытания проводили на балочках квадратного сечения путем установления их в испытательное устройство и нагружения на универсальной разрывной машине до разрушения.

Расчет предела прочности на растяжение при изгибе производился согласно формуле:

$$R_{изг.} = q \frac{F l}{a v^2}, \text{ где}$$

q – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базового размера (a=15 см), равный 0,92;

F – разрушающая нагрузка, кгс<sup>2</sup>;

a, v, l – ширина, высота призмы и расстояние между опорами при испытании, см.

Результаты испытаний образцов на растяжение при изгибе приведены в табл. 3.2.  
Таблица 3.2.

Номер образца	Ширина и высота образцов (a,v), см	Расстояние между опорами, (l), см	Разрушающая нагрузка, (F), кгс	Предел прочности на растяжение при изгибе, кгс/см <sup>2</sup>
1-1	10,5x10,0	30	1200	31,5
1-2	10,0x10,0	20	1675	31,8
1-3	10,1x10,0	30	1170	33,0
				<b>ср.= 32</b>
2-1	10,5x10,5	30	1720	42,4
2-2	10,8x10,8	30	1724	39,0
2-3	10,5x10,1	21	1900	35,4
				<b>ср.=39</b>

Как следует из полученных результатов испытаний, введение фибры в состав бетона повышает его предел прочности на растяжение при изгибе на 22 %.

### 3.3 ИСТИРАЕМОСТЬ

Волокно полипропиленовое вводится в бетонную смесь в качестве армирующего материала, следовательно, должно оказывать положительное влияние на истираемость бетона, т.е. способность материала сопротивляться нагрузкам, действующим на материал и вызывающим постепенное его разрушение с поверхности путем отрывания мелких частиц.

Истираемость, согласно ГОСТ 13087-81 определяли на специальном приборе – круге истирания ЛКИ-2 и выражали ее величиной потери первоначального веса, отнесенной к одному сантиметру квадратному площади истирания.

Суть метода заключается в установке образца в специальное гнездо и нанесении на истирающий диск абразива. Через 30 м пути истирания (28 оборотов) истирающий диск останавливается, с него удаляются остатки абразивного материала и истертого в порошок бетона и насыпают новую порцию абразива, включают привод истирающего круга. Указанную операцию повторяют 5 раз. Что составляет 1 цикл испытаний (150 м пути). Всего проводят 4 цикла для каждого образца (общий путь истирания равен 600 м).

Истираемость ( $\text{г/см}^2$ ) определяют по формуле:

$$G = \frac{M_1 - M_2}{F}, \text{ где}$$

$M_1$  и  $M_2$  – масса образца до и после испытания соответственно, г

$F$  – площадь истираемой грани,  $\text{см}^2$ .

Результаты испытаний на истираемость представлены в табл. 3.3

Таблица 3.3

Номер образца	Масса, г		Площадь истираемой грани, $\text{см}^2$	Истираемость, $\text{г/см}^2$	
	до испыт.	после испыт.		Отдельных образцов	Среднее значение
1-1	880	872	51,10	0,157	0,160
1-2	861	852	51,10	0,176	
1-3	868	859	61,20	0,147	
2-1	861	855	50,40	0,119	0,105
2-2	827	822	48,18	0,104	
2-3	853	848	51,02	0,098	

Из приведенных результатов следует, что фибра значительно снижает истираемость бетона и для данного состава (В15) снижение достигло 52,4 %.

### 3.4 ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ

Водонепроницаемость бетона характеризуется наибольшим давлением воды, при котором она еще не просачивается через образцы. Обычные тяжелые бетоны, без специальных добавок, по водонепроницаемости делятся на 4 марки: W 2, W 4, W 6 и W 8, выдерживающие соответственно давление 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 МПа.

Определение водонепроницаемости бетонов №1 и №2 проводилось ускоренным методом по их воздухопроницаемости на приборе “АГАМА-2Р”.

Результаты испытаний в зависимости от табличной связи (ГОСТ 12730.5-84) между сопротивлением воздухопроницанию бетона и его водонепроницаемости представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4.

Вид бетона	Сопротивление бетона прониканию воздуха, с/см куб		Марка бетона по водонепроницаемости
	Среднее арифметическое значение для 6-ти опытов	Согласно ГОСТ 12730.5	
№1 (без фибры)	1,5-3,8	3,1-4,5	W 2
№2 (с фиброй)	5,5-8,0	4,6-6,5	W 4
		6,6-9,4	W 6

Как видно из приведенных данных, наличие фибры в составе бетона приводит к улучшению показателя водонепроницаемости (от W 2 до W 4 - W 6.)

### 3.5 ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ И КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.

На показатели свойств – водопоглощение и коэффициент теплопроводности введение фибры в бетон практически не влияет.

Так, водопоглощение бетонов №1 и №2 составляет 6,63 и 6,15 % соответственно.

Коэффициент теплопроводности бетонов обеих партий имеет одинаковое значение – 0,92 Вт/м.°К.

### 3.6 МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

Как и водонепроницаемость, морозостойкость является свойством бетона тесно связанным с особенностями его строения. Морозостойкость определяет срок службы (долговечность) частей сооружений, подвергающихся многократному замораживанию и оттаиванию, поэтому является одним из главных требований, предъявляемых к бетону гидротехнических сооружений, дорожных покрытий, опор мостов и других подобных конструкций.

Морозостойкость бетона характеризуется наибольшим числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые способны выдерживать образцы 28-и суточного возраста без снижения предела прочности при сжатии более чем на 5 %.

Испытания на морозостойкость согласно ДСТУ Б В.2.7-49 проводились на образцах насыщенных 5% водным раствором хлористого натрия путем замораживания при температуре (-18 °С ±2) в течении 2- часов и 1,5 часовом оттаивании в таком же растворе, т.е по ускоренному методу.

Результаты испытаний (средние значения) представлены в табл. 3.5.

Бетон класса В 15 без специальных добавок имеет марку по морозостойкости F 50 (8 циклов ускоренно). Как видно из полученных результатов ( табл.3.5) бетоны №1и №2 показали морозостойкость F 50, так как потеря прочности составила 3,1 и 3,06 % соответственно.

Для получения сравнительной характеристики по влиянию фибры на морозостойкость бетонов испытания на морозостойкость были продолжены до F 200 (45 ускоренно).

В приложении 2 графически отображена потеря прочности бетонов после испытания их на морозостойкость до F 200.

При испытаниях было установлено, что образцы, изготовленные из бетона без фибры, имеют значительную потерю прочности : от 3,1% при F 50 до 38,5 % при F 150, а затем наступило их полное разрушение.

Таблица 3.5

Вид бетона	Предел прочности при сжатии <u>контрольных</u> обр., кгс/см <sup>2</sup>	Предел прочности при сжатии <u>основных</u> образцов, кгс/см <sup>2</sup> после ускоренного количества циклов (морозостойкость)					Потеря прочности, %
		8 ускор. (F 50)	13 уск. (F 75)	20 уск. (F 100)	30 уск. (F 150)	45 уск. (F 200)	
№1 без фибры	223,1	216					3,1
			190				14,8
				179			19,7
					137		38,5
						Образцы разрушены	-
№2 фибра	261	253					3,06
			242				7,2
				229			12,2
					224		14,1
						164	38,3

Бетонные образцы с фиброй имеют меньшую потерю прочности: от 3,06 % без разрушения, что позволяет говорить о положительном влиянии фибры на морозостойкость бетона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных сравнительных испытаний тяжелого бетона класса В 15 с бетоном такого же класса, но с введением волокна армирующего полипропиленового ВАП(фибры) производства ООО ДИИФ» (ТУ У 32781078.002-2004 г. Днепропетровск, Украина) установлено положительное влияние ВАП на показатели свойств бетона:

а) увеличение:

- скорости набора прочности бетона, особенно первые трое суток (до 48 %);
- предела прочности при сжатии в проектном возрасте (около 28 %);
- предела прочности при изгибе (22 %);
- водонепроницаемости бетона с W 2 до W 4- W 6.

б) снижение истираемости бетона на 50 %.

Показатели водопоглощения, коэффициента теплопроводности и морозостойкости (при F 50) бетона В 15 и бетона В 15 с ВАП имеют практически одинаковые значения. Но, судя по меньшей величине потери прочности бетона при попеременном замораживании и оттаивании больше проектного F, следует изучить показатель морозостойкости для более высоких марок.