

**«Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и  
технологический институт бетона и железобетона»  
«НИИЖБ»**



**УТВЕРЖДАЮ:**

Зам. директора НИИЖБ,  
д. т. н., проф.  
Мухамедиев Т.А.

2005 г.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

теме: «Проведение испытаний материалов системы Пенетрон для бетона и  
разработка технических условий»

договор № 786/04 от 6 декабря 2004 г.

Руководитель темы, зав. лабораторией  
коррозии и долговечности бетонных и  
железобетонных конструкций, проф., д.т.н.

Степанова В.Ф.

Ответственные исполнители:  
Ст. научный сотрудник  
Научный сотрудник

Соколова С. Е.  
Полушкин А. Л.

## Содержание

1.	Характеристика материалов, представленных на испытания	4
2.	Основные технологические параметры нанесения материалов и изготовления образцов	6
3.	Определение основных показателей качества и защитных свойств материалов системы ПЕНЕТРОН	10
3.1.	Влажность материалов	10
3.2.	Сроки схватывания материалов	11
3.3.	Насыпная плотность материалов	
3.4.	Прочность материалов	14
3.5.	Водонепроницаемость материалов	18
3.6.	Морозостойкость материалов	19
3.7.	Прочность сцепления материалов с бетоном	24
4.	Общие выводы	28

Данная работа выполнена в соответствии с календарным планом хоздоговора № 786/04 от 6 декабря 2004 г. с ЗАО «Торговый Дом «Уралпромсервис» по теме: «Проведение испытаний материалов системы ПЕНЕТРОН для бетона и разработка технических условий».

## **1. Характеристика материалов, представленных на испытания**

Для проведения испытаний Заказчиком представлены четыре материала системы ПЕНЕТРОН: Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг и Пенеплаг. Пенетрон – общее название системы материалов, предназначенных для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций. Материалы представляют собой сухие смеси на основе специальных цементов, кварцевого песка определенной granulometрии и активных химических добавок. По внешнему виду материалы представляют сыпучие порошки серого цвета, не содержащие механических примесей.

Производителем материалов является компания ООО «Завод гидроизоляционных материалов «ПЕНЕТРОН».

Область применения материалов:

Пенетрон применяется для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций, в том числе оштукатуренных цементно-песчаным раствором, и придания бетону водонепроницаемости. Пенекрит применяют в сочетании с Пенетроном для гидроизоляции трещин, стыков, сопряжений и т.д. в бетонных и железобетонных конструкциях. Ватерплаг и Пенеплаг предназначены для быстрой ликвидации напорных течей через трещины, стыки и отверстия в бетонных и железобетонных конструкциях.

Для проведения испытаний от Заказчика были получены материалы сопровождающиеся актом отбора проб, представленные в табл.1.

Таблица 1

Номер партии	Наименование материала	Дата изготовления	Номер пробы	Кол-во пробы
1	Пенетрон	20.11.04 г.	013	25 кг
	Пенекрит	20.11.04 г.	001	25 кг
	Ватерплаг	16.03.04 г.	001	25 кг
	Пенеплаг	16.04.04 г.	026	25 кг
2	Пенекрит	30.04.04 г.	027	25 кг
	Ватерплаг	30.04.04 г.	043	25 кг
	Пенеплаг	18.04.04 г.	026	25 кг

В соответствии с календарным планом работ по договору проведены испытания материалов системы ПЕНЕТРОН, по следующим показателям:

- определение влажности материалов;
- определение сроков схватывания;
- определение насыпной плотности;
- определение прочности на сжатие материалов в разные сроки;
- определение прочности на сжатие бетона, обработанного Пенетроном, по сравнению с контрольными образцами;
- определение морозостойкости материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг;
- определение морозостойкости бетона, обработанного Пенетроном, по сравнению с контрольными образцами;
- определение водонепроницаемости материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг;
- определение водонепроницаемости бетона, обработанного Пенетроном, по сравнению с контрольными образцами;
- определение прочности сцепления (адгезии) материалов с бетоном.

## 2. Основные технологические параметры нанесения материалов и изготовления образцов

Изготовление образцов и нанесение покрытий из материалов выполняли в соответствии с рекомендациями, предоставленными Заказчиком, и «Технологическим регламентом на применение гидроизоляционных материалов проникающего действия системы ПЕНЕТРОН». Контрольные образцы бетона и образцы бетона, предназначенные для нанесения ПЕНЕТРОНА и других материалов, были изготовлены следующего состава.

Расход материалов на 1 куб. м бетона:

Цемент – 350 кг;

Песок – 630 кг;

Щебень – 1120 кг;

Вода – 175 л.

Соотношение материалов:

Ц : П : Щ = 1 : 1,8 : 3,2

В/Ц = 0,5

После изготовления образцы были выдержаны в камере естественного твердения при температуре в пределах  $(20 \pm 5)^{\circ} \text{C}$  и относительной влажности воздуха не менее 95 % в течение 28 суток.

Класс бетона по прочности В22,5.

Для приготовления составов из материалов системы ПЕНЕТРОН в соответствии с рекомендациями были приняты следующие соотношения:

- на 1 кг Пенетрона – 400 мл воды;
- на 1 кг Пенекрита – 250 мл воды;
- на 1 кг Ватерплага – 300 мл воды;
- на 1 кг Пенеплага – 300 мл воды.

Для проведения испытаний были использованы следующие виды образцов:

1. бетонные образцы-кубы размером 7х7х7см, (контрольные и обработанные Пенетроном) для испытаний на адгезию, морозостойкость, прочность.
2. образцы-кубы, изготовленные из материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг, размером 7х7х7см, для испытаний на морозостойкость, прочность.
3. образцы-цилиндры, изготовленные из материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг, диаметром 15 см и высотой 5 см, для испытаний на водонепроницаемость
4. бетонные образцы-цилиндры диаметром 15 см и высотой 5 см, для испытаний на водонепроницаемость.
5. бетонные образцы-кубы размером 10х10х10 см (контрольные и обработанные Пенетроном) для испытаний на адгезию материалов Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг.

Бетонные образцы, предназначенные для нанесения Пенетрона, после 28 суток выдержки в камере естественного твердения, были очищены с одной стороны (верхней при бетонировании) от цементного молочка металлической щеткой. Затем образцы были помещены в емкость с водой при полном погружении и выдержаны в воде 2 суток.

Приготовление раствора Пенетрон проводили путем добавления воды в сухую смесь при тщательном перемешивании в течение 3 минут.

Раствор Пенетрона наносился кистью в два слоя с междуслойной выдержкой 2 часа, при этом перед нанесением второго слоя обрабатываемая поверхность была увлажнена. Ориентировочная толщина первого слоя составила 0,5 мм, второго – 0,3 мм. Общая толщина системы покрытия Пенетрон составила 0,8 мм. После нанесения состава образцы накрывали полиэтиленовой пленкой и выдерживали в течение 3 суток, при периодическом (2 раза в день) увлажнении с помощью распылителя. Затем образцы помещали в емкость с водой так, что вода закрывала примерно 2/3 высоты образцов (условия капиллярного подсоса) и выдерживали в течение

3 суток Изготовленные образцы хранились в течение 28 суток при комнатных условиях: температура  $(20 \pm 2)^{\circ} \text{C}$ , относительная влажность  $60 \pm 5 \%$ .

При приготовлении растворов из материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг расчетное количество воды вливали в сухую смесь и тщательно перемешивали в течение 1-3 минут, в зависимости от материала. Из-за коротких сроков схватывания материал Ватерплаг замешивали в небольших количествах. Приготовленным раствором заполняли формы для образцов, тщательно утрамбовывая.

После твердения в формах в течение 1 суток образцы были распалублены и после частичной отбраковки помещены в камеру естественного твердения.

Следует отметить повышенное водоотделение растворной смеси из Пенекрита, что свидетельствует о возможности снижения расхода воды. Кроме того, из-за малой прочности и высокой адгезии к металлу распалубить образцы из Пенекрита после 1 суток твердения не представляется возможным. Поэтому при изготовлении дополнительных образцов для испытаний был снижен расход воды до 220 мл на 1 кг Пенекрита, а время выдержки образцов в формах увеличено до 3 суток.

Образцы из материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг, предназначенные для испытаний по определению прочности на сжатие, морозостойкости и водонепроницаемости, были выдержаны в камере естественного твердения при температуре в пределах  $(20 \pm 5)^{\circ} \text{C}$  и относительной влажности воздуха не менее 95 %. Сроки хранения образцов определялись рекомендациями заказчика по их испытаниям.

Для определения прочности сцепления (адгезии) материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг с бетоном готовые растворы наносились на подготовленную (очищенную от цементного молочка металлической щеткой) и увлажненную поверхность бетонных образцов-кубов (выдержанных в условиях полного погружения в течение 2 суток) в

специальные формы размером в плане 7x7 см и высотой 2 см, после чего образцы выдерживали в камере естественного твердения в течение 3 и 28 суток.

Перед испытаниями проведен осмотр образцов, часть из которых из-за наличия трещин была отбракована. Визуальный осмотр после хранения в камере естественного твердения показал следующее.

Пенетрон – поверхность ровная, однородная, без трещин, наблюдается незначительное меление.

Пенекрит – значительные высолы на всех образцах, отдельные трещины на образцах, которые были отбракованы.

Ватерплаг – образцы однородные, без высолов, отдельные трещины на образцах, которые были отбракованы.

Пенеплаг – очень сильные высолы на всех образцах в виде жестких хлопьев.

Высолы с образцов, приготовленных из Пенекрита и Пенеплага, перед испытаниями удаляли металлической щеткой.

Следует отметить, что образцы из Пенекрита, отбракованные после распалубки и хранившиеся при комнатных условиях (температура  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $60 \pm 5 \%$ ), не имели высолов.

Для проведения испытаний по основным показателям качества была принята следующая маркировка образцов:

Серия 1 – Пенетрон;

Серия 2 – Пенекрит;

Серия 3 – Ватерплаг;

Серия 4 – Пенеплаг;

Серия 5 – контрольные образцы бетона.



### 3. Определение основных показателей качества и защитных свойств материалов системы ПЕНЕТРОН

#### 3.1. Определение влажности материалов системы ПЕНЕТРОН

Определение влажности материалов Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг и Пенеплаг выполняли по ГОСТ 8735-88\* «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

Для более точного определения влажности были отобраны разные навески по 200 и 400 г каждого материала.

Подготовленные навески были установлены в сушильный шкаф и высушены до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Постоянной считают массу пробы, при которой результаты двух последовательных взвешиваний отличаются не более, чем на 0,1 %. При этом время между взвешиваниями должно быть не менее 4 часов.

Влажность навески по массе  $W_m$  в процентах вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле:

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c} \cdot 100,$$

где  $m_b$  — масса навески материала до сушки, г;

$m_c$  — масса навески материала после сушки, г.

Результаты определения влажности материалов Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг и Пенеплаг представлены в таблице 2.

Наименьшая влажность оказалась у материала Ватерплаг, наибольшая — у материала Пенеплаг.

Таблица 2.

Наименование материала	Масса навески материала до сушки, $m_B$ , Г	Масса навески материала после сушки, $m_C$ , Г	$\Delta m$ , Г	Влажность материала, %	
				$W_M$	$W_M$ , сред.
Пенетрон	200	197,4	2,6	1,30	1,17
	400	395,9	4,1	1,03	
Пенекрит	200	198,4	1,6	0,80	0,77
	400	397,1	2,9	0,73	
Ватерплаг	200	198,8	1,2	0,60	0,59
	400	397,7	2,3	0,58	
Пенеплаг	200	196,1	3,9	1,95	2,08
	400	391,2	8,8	2,20	

### 3.2. Определение сроков схватывания материалов

Определение сроков схватывания материалов Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг и Пенеплаг выполняли по ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Испытания проводили на приборе Вика погружением иглы в кольцо, заполненное тестом, приготовленным из материалов. Для приготовления теста были отобраны навески по 400 г каждого материала. После чего в специальной чашке материалы были затворены водой и тщательно перемешаны.

Момент начала схватывания определяли при свободном опускании иглы. Иглу погружали в тесто через определенные интервалы времени, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попала в прежнее место. Длительность интервала определялась, исходя из предполагаемого времени твердения каждого материала.

Началом схватывания теста считают время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 2-4 мм.

Концом схватывания цементного теста считают время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1-2 мм.

Результаты определения сроков схватывания материалов Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг и Пенеплаг представлены в таблице 3.

Таблица 3

Наименование материала	Начало схватывания, не ранее	Конец схватывания, не позднее
Пенетрон	55 минут	1 ч 30 мин.
Пенекрит	45 минут	1 ч 30 мин.
Ватерплаг	2 минуты	5 минуты
Пенеплаг	2 минуты	4 минуты

Сроки схватывания материала Пенеплаг не отвечают требованиям, предъявляемым к материалам, предназначенным для быстрой ликвидации напорных течей.

### **3.3. Определение насыпной плотности материалов системы ПЕНЕТРОН**

Определение насыпной плотности материалов Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг и Пенеплаг выполняли по ГОСТ 8735-88\* «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

Определение насыпной плотности материала в партии осуществляют для перевода количества поставляемого материала из единиц массы в объемные единицы. Испытания проводили в мерном цилиндрическом сосуде вместимостью 2л.

При определении насыпной плотности материал насыпали совком в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 100 см от верхнего края цилиндра до образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения материала снимали вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с материалом взвешивали.

Насыпную плотность материала ( $\rho_n$ ) в кг/л вычисляли по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V},$$

где  $m$  — масса мерного сосуда, кг;

$m_1$  — масса мерного сосуда с материалом, кг;

$V$  — объем сосуда,  $V$ , л.

Определение насыпной плотности материалов Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг и Пенеплаг производили по три раза, при этом каждый раз брали новую порцию материала. Результаты определения насыпной плотности материалов Пенетрон, Пенекрит, Ватерплаг и Пенеплаг представлены в таблице 4.

Таблица 4

Наименование материала	Масса мерного сосуда, $m$ , кг	Масса мерного сосуда с материалом, $m_1$ , кг	Объем сосуда, $V$ , л	Насыпная плотность, $\rho_n$ , средняя	
				кг/л	кг/м <sup>3</sup>
Пенетрон	0,322	2,805 2,799 2,793	2	1,229	1229
Пенекрит	0,322	2,924 2,931 2,935	2	1,304	1304
Ватерплаг	0,322	2,779 2,747 2,761	2	1,220	1220
Пенеплаг	0,322	2,436 2,424 2,430	2	1,054	1054

### 3.4. Определение прочности материалов

Определение прочности на сжатие проводили на контрольных образцах из бетона, бетонных образцах, обработанных Пенетроном, и образцах, изготовленных из материалов Пенекрит, Пенеплаг и Ватерплаг в соответствии с ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Образцы, изготовленные из материалов Пенекрит, Пенеплаг и Ватерплаг были испытаны в различные сроки – через 24 часа после изготовления, через 7 и 28 суток. Бетонные образцы, обработанные Пенетроном, испытывали через 28 суток после нанесения Пенетрона. Контрольные образцы бетона испытывались в те же сроки, что и образцы, обработанные Пенетроном.

Для уточнения результатов определения прочности на сжатие материалов Пенекрит, Пенеплаг, Ватерплаг в ранние сроки (24 часа и 7 суток) были изготовлены образцы из разных партий материалов. При этом, для Пенеплага соотношение с водой составило для партии № 1 – на 1 кг Пенеплага 400 мл воды, для партии № 2 - на 1 кг Пенеплага 300 мл воды. Результаты определения прочности по партиям представлены в таблицах 5 и 6 соответственно и для материалов Пенекрит, Ватерплаг практически не отличаются. Для материала Пенеплаг уменьшенный расход воды позволил существенно повысить прочность образцов, особенно в возрасте 7 и 28 суток.

В таблице 7 приведены обобщенные данные по всем материалам в различные сроки, за основу по материалам Пенекрит, Пенеплаг, Ватерплаг приняты результаты по партии № 2.

Анализ результатов позволяет отметить повышение прочности на сжатие (около 7 %) бетонных образцов, обработанных Пенетроном, по сравнению с контрольными образцами.

Следует также отметить значительный прирост прочности материалов Пенекрит и Пенеплаг через 7 суток по сравнению с прочностью через 24 часа. Набор прочности материала Ватерплаг происходил в первые 24 часа и в дальнейшем при хранении в камере естественного твердения прирост прочности был незначительным.

Таблица 5

## Определение прочности образцов по ГОСТ 10180 (партия 1)

Маркировка образцов (серии)	Вид материала	Дата изготовления образцов	Дата проведения испытаний	Результат испытаний по серии образцов					
				24 часа			7 суток		
				Разрушающее усилие, N, кН	Прочность R, Мпа	Рср, Мпа	Разрушающее усилие, N, кН	Прочность R, Мпа	Рср, Мпа
Серия 2	Пенекрит	26.01	24 часа – 27.01	1 – 16,7	2,9	2,5	1 – 143,6	24,9	24,1
			7 суток – 2.02	2 – 16,5	2,9		2 – 129,9	22,5	
				3 – 11,8	2,0		3 – 148,7	25,8	
				4 – 13,6	2,4		4 – 133,6	23,2	
				5 – 13,3	2,3		5 – 139,1	24,1	
Серия 3	Ватерплаг	24.01	24 часа – 27.01	1 – 55,6	9,6	9,6	1 – 83,1	14,4	14,4
			7 суток – 31.01	2 – 56,2	9,7		2 – 90,1	15,6	
				3 – 57,2	9,9		3 – 75,2	13,0	
				4 – 54,8	9,5		4 – 86,3	15,0	
				5 – 54,1	9,4		5 – 81,4	14,1	
Серия 4	Пенеплаг	26.01	24 часа – 27.01	1 – 27,8	4,8	5,2	1 – 32,0	5,6	5,7
			7 суток – 2.02	2 – 29,1	5,0		2 – 36,2	6,3	
				3 – 28,1	4,9		3 – 31,1	5,4	
				4 – 33,2	5,8		4 – 29,7	5,2	
				5 – 30,6	5,3		5 – 34,2	5,9	

Таблица 6

## Определение прочности образцов по ГОСТ 10180 (партия 2)

Маркировка образцов (серии)	Вид материала	Дата изготовления образцов	Дата проведения испытаний	Результат испытаний по серии образцов					
				24 часа			7 суток		
				Разрушающее усилие, N, кН	Прочность R, Мпа	Рср, Мпа	Разрушающее усилие, N, кН	Прочность R, Мпа	Рср, Мпа
Серия 2	Пенекрит	7.02	24 часа – 8.02	1 – 13,0	2,3	2,4	1 – 150,8	26,2	27,3
			7 суток – 14.02	2 – 16,4	2,8		2 – 164,9	28,6	
				3 – 11,9	2,1		3 – 143,2	24,8	
				4 – 13,2	2,3		4 – 170,4	29,6	
				5 – 13,6	2,4		5 – 158,0	27,4	
Серия 3	Ватерпла Г	7.02	24 часа – 8.02	1 – 54,1	9,4	9,6	1 – 83,4	14,5	14,2
			7 суток – 14.02	2 – 56,8	9,9		2 – 79,7	13,8	
				3 – 57,2	9,9		3 – 78,4	13,6	
				4 – 55,3	9,6		4 – 81,8	14,2	
				5 – 53,8	9,3		5 – 86,2	15,0	
Серия 4	Пенеплаг	7.02	24 часа – 8.02	1 – 35,6	6,2	6,3	1 – 89,5	15,5	14,6
			7 суток – 14.02	2 – 37,4	6,5		2 – 81,8	14,2	
				3 – 35,0	6,2		3 – 77,5	13,4	
				4 – 33,1	5,7		4 – 91,4	15,9	
				5 – 39,8	6,9		5 – 79,6	13,8	

Таблица 7

## Определение прочности образцов по ГОСТ 10180

Маркировка образцов (серии)	Вид материала	Размер образцов, см	Дата изготовления образцов	Дата проведения испытаний	Результат испытаний по серии образцов, R, Мпа					
					24 часа		7 суток		28 суток	
Серия 1	Бетон с Пенетроном	7,0x7,0x7,0	17.01.05 (нанесение)	21.02.05	–		–		1 – 34,86 2 – 31,94 3 – 32,68 4 – 34,62 5 – 36,71	34,2
Серия 2	Пенекрит	7,0x7,0x7,0	26.01.05	24 часа – 27.01 7 суток – 02.02 28 суток – 24.02	1 – 2,90 2 – 2,86 3 – 2,05 4 – 2,36 5 – 2,31	2,5	1 – 24,91 2 – 22,53 3 – 25,79 4 – 23,18 5 – 24,13	24,1	1 – 27,48 2 – 28,26 3 – 25,14 4 – 29,91 5 – 29,06	28,0
Серия 3	Ватерплаг	7,0x7,0x7,0	24.01.05	24 часа – 25.01 7 суток – 31.01 28 суток – 22.02	1 – 9,64 2 – 9,75 3 – 9,92 4 – 9,51 5 – 9,38	9,6	1 – 14,42 2 – 15,63 3 – 13,04 4 – 14,97 5 – 14,12	14,4	1 – 16,60 2 – 16,20 3 – 16,79 4 – 17,03 5 – 16,71	16,7
Серия 4	Пенеплаг	7,0x7,0x7,0	26.01.05	24 часа – 27.01 7 суток – 02.02 28 суток – 24.02	1 – 35,6 2 – 37,4 3 – 35,0 4 – 33,1 5 – 39,8	6,3	15,5 14,2 13,4 15,9 13,8	14,6	1 – 17,03 2 – 16,72 3 – 17,0 4 – 16,29 5 – 15,92	16,6
Серия 5	контрольные образцы бетона	7,0x7,0x7,0	16.12.04	21.02.05	–		–		1 – 33,19 2 – 29,43 3 – 30,41 4 – 34,33 5 – 31,94	31,9

Примечание: контрольные образцы бетона были испытаны в те же сроки, что и образцы бетона с Пенетроном.



### **3.5. Определение водонепроницаемости материалов системы ПЕНЕТРОН**

Определение водонепроницаемости бетонных образцов, обработанных Пенетроном, образцов, изготовленных из материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг и бетонных образцов без защиты (контрольные образцы) проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.5-84 «Бетоны. Метод определения водонепроницаемости». Определение водонепроницаемости осуществляли на образцах-цилиндрах диаметром 15 см и высотой 5 см. Испытания проведены на специальной шестигнездной установке, обеспечивающей возможность подачи воды к нижней торцевой поверхности образцов-цилиндров и наблюдение за верхней торцевой поверхностью бетона.

Давление поднимали ступенями по 0,2 МПа, начиная с 0,2 МПа до 1,6 МПа и выдерживали на каждой ступени в течение 6 часов. Испытания продолжали до появления признаков фильтрации воды в виде капель или мокрого пятна на верхней торцевой поверхности. Водонепроницаемость серии образцов оценивали максимальным давлением воды, при котором на четырех из шести образцов не наблюдается признаков фильтрации воды.

Для бетонных образцов, обработанных Пенетроном, испытания проводили при прямом и обратном (со стороны торца образца, необработанного материалом) давлении воды. Перед проведением испытаний при обратном давлении воды по требованию заказчика проводили удаление материала Пенетрон с поверхности бетонных образцов.

Результаты определения водонепроницаемости образцов представлены в таблице 8.

Определение водонепроницаемости по ГОСТ 12730.5-84  
(метод «мокрого пятна»)

Маркировка образцов (серии)	Вид материала	Дата изготовления образцов	Дата нанесения покрытия	Дата начала испытаний	Направление давления	Результат по серии образцов
Серия 1а	Бетон с Пенетроном	28.12.04	31.01.05	14.03.05	прямое	W10
Серия 1б	Бетон с Пенетроном	28.12.04	31.01.05	14.03.05	обратное	W8
Серия 2	Пенекрит	31.01.05	–	1.03.05	прямое	W14
Серия 3	Ватерплаг	1.02.05	–	1.03.05	прямое	W14
Серия 4	Пенеплаг	31.01.05	–	1.03.05	прямое	W16
Серия 5	Контрольные образцы бетона	28.12.04	–	14.03.05	прямое	W2

В целом, материалы системы ПЕНЕТРОН (Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг), а также бетонные образцы, обработанные Пенетроном, показали высокие значения водонепроницаемости.

### 3.6. Определение морозостойкости материалов системы ПЕНЕТРОН

Определение морозостойкости бетонных образцов, обработанных Пенетроном, бетонных образцов без защиты (контрольные образцы) и образцов, изготовленных из материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 10060.2-95 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Морозостойкость определяли по ускоренному методу (третий метод) при многократном переменном замораживании-оттаивании на образцах кубах 7х7х7 см. Предварительно все

образцы были насыщены в 5% растворе хлорида натрия и помещены в морозильную камеру, обеспечивающую достижение и поддержание температуры до минус  $(50\pm 5)^{\circ}\text{C}$ . Оттаивание образцов происходило при температуре плюс  $(18\pm 2)^{\circ}\text{C}$ .

Соотношение между числом циклов испытаний по ускоренному методу, основанному на замораживании-оттаивании в растворе соли и морозостойкостью принимали по таблице 9.

Таблица 9

Число циклов замораживания-оттаивания (морозостойкость)	100	200	300	400
Число циклов испытаний	3	5	8	12

Оценку состояния образцов производили после каждой марки по морозостойкости по изменению внешнего вида, массы и прочности. Результаты испытаний приведены в таблицах 10, 11, 12 соответственно. Марку материала по морозостойкости принимали по количеству циклов замораживания-оттаивания, при котором снижение прочности произошло не более, чем на 5 %, а потеря массы – не более, чем на 3%.

Анализ и обобщение приведенных данных позволяют определить марку по морозостойкости для каждого материала:

- серия 1, бетон, обработанный Пенетроном – F200;
- серия 2, Пенекрит – F400;
- серия 3, Ватерплаг – F200;
- серия 4, Пенеплаг – F300;
- серия 5, контрольный бетон – F100.

Таким образом, обработка бетона материалом Пенетроном позволяет повысить марку по морозостойкости в 2 раза (на 100 циклов) по сравнению с бетоном без защиты.

Таблица 10

## Результаты испытаний на морозостойкость по изменению внешнего вида

Серия	Сроки испытаний образцов				
	3 цикла 17.03.05	5 циклов 21.03.05	8 циклов 24.03.05	10 циклов 28.03.05	12 циклов 30.03.05
Серия 1, бетон с Пенет- роном	Среднее шелушение бетона, особенно на удалении от обработанной поверхности	Сильное шелушение бетона, скругление углов и ребер	Сильное поверхностное разрушение бетона на гранях, на углах и ребрах	Сильное разрушение бетона, грань, противопо- ложная обра- ботанной, практически разрушилась	Практически полное разрушение образцов
Серия 2, Пенекрит	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Слабое шелушение на отдельных гранях	Слабое шелушение практически на всех гранях
Серия 3, Ватерплаг	Начало шелушения	Слабое шелушение на отдельных гранях	Среднее шелушение практически на всех гранях, начало скругления углов	Сильное шелушение на всех гранях, скругление углов и ребер	Поверхнос- тное разрушение на гранях, сильное – на углах и ребрах
Серия 4, Пенеплаг	Без изменений	Без изменений	Слабое шелушение на отдельных гранях	Слабое шелушение практически на всех гранях	Среднее шелушение на всех гранях, начало скругления углов
Серия 5, контроль- ные образцы	Сильное шелушение поверхности бетона, скругление углов и ребер	Сильное поверхностное разрушение бетона на гранях, очень сильное – на углах и ребрах	Практически полное разрушение образцов	–	–

Таблица 11.

## Результаты испытаний на морозостойкость по изменению массы

Серия	№ образ.	Масса образцов, г											
		Масса сухих образцов, г	Масса до испытаний, г	Циклы / дата измерений									
				3 цикла 17.03.05		5 циклов 21.03.05		8 циклов 24.03.05		10 циклов 28.03.05		12 циклов 30.03.05	
				m	$\Delta m$	m	$\Delta m$	m	$\Delta m$	m	$\Delta m$	m	$\Delta m$
Серия 1, Пенетрон	11	830	860	860	0	849	-11	825	-35	807	-53	764	-96
	12	863	891	892	+1	881	-10	836	-55	816	-75	783	-108
	13	855	884	888	+4	880	-4	853	-31	821	-63	790	-94
	14	840	867	869	+2	857	-10	850	-17	836	-31	795	-72
			$m_{CP} = 876$	$\Delta m_{CP}, \Gamma = +2$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -9$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -37$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -56$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -93$	
			$\Delta m_{CP}, \% = +0,2$		$\Delta m_{CP}, \% = -1,0$		$\Delta m_{CP}, \% = -4,2$		$\Delta m_{CP}, \% = -6,4$		$\Delta m_{CP}, \% = -10,6$		
Серия 2, Пенекрит	21	726	752	756	+4	756	+4	758	+6	760	+8	759	+7
	22	720	746	749	+3	750	+4	752	+6	754	+8	752	+6
	23	709	739	742	+3	742	+3	743	+4	743	+4	742	+3
	24	724	747	750	+3	751	+4	752	+5	752	+5	751	+4
			$m_{CP} = 746$	$\Delta m_{CP}, \Gamma = +3$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = +4$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = +5$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = +6$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = +5$	
			$\Delta m_{CP}, \% = +0,4$		$\Delta m_{CP}, \% = +0,5$		$\Delta m_{CP}, \% = +0,7$		$\Delta m_{CP}, \% = +0,8$		$\Delta m_{CP}, \% = +0,7$		
Серия 3, Ватерплаг	31	653	695	704	+9	708	+13	689	-6	674	-21	653	-42
	32	643	676	686	+10	688	+12	673	-3	659	-17	640	-36
	33	649	689	696	+7	701	+12	688	-1	667	-22	640	-49
	34	659	699	710	+11	711	+12	701	+2	680	-19	652	-47
			$m_{CP} = 690$	$\Delta m_{CP}, \Gamma = +9$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = +12$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -2$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -20$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -44$	
			$\Delta m_{CP}, \% = +1,3$		$\Delta m_{CP}, \% = +1,7$		$\Delta m_{CP}, \% = -0,3$		$\Delta m_{CP}, \% = -2,9$		$\Delta m_{CP}, \% = -6,4$		
Серия 4, Пенеплаг	41	707	711	711	0	711	0	716	+5	713	+2	707	-4
	42	688	691	691	0	692	+1	694	+3	689	-2	680	-11
	43	686	687	687	0	688	+1	689	+2	684	-3	678	-9
	44	691	692	693	+1	693	+1	697	+5	694	+2	686	-6
			$m_{CP} = 695$	$\Delta m_{CP}, \Gamma = 0$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = +1$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = +4$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = 0$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -8$	
			$\Delta m_{CP}, \% = 0$		$\Delta m_{CP}, \% = +0,1$		$\Delta m_{CP}, \% = +0,6$		$\Delta m_{CP}, \% = 0$		$\Delta m_{CP}, \% = -1,2$		
Серия 5, контроль- ные образцы	51	850	871	860	-11	836	-35	783	-88	Образцы разрушились		Образцы разрушились	
	52	844	861	843	-18	815	-46	765	-96				
	53	861	876	858	-18	832	-44	790	-86				
	54	854	876	870	-12	839	-43	792	-90				
			$m_{CP} = 873$	$\Delta m_{CP}, \Gamma = -15$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -42$		$\Delta m_{CP}, \Gamma = -90$					
			$\Delta m_{CP}, \% = -1,7$		$\Delta m_{CP}, \% = -4,8$		$\Delta m_{CP}, \% = -10,3$						

Таблица 12.

## Результаты испытаний на морозостойкость по изменению прочности

Серия	Прочность образцов, R, МПа													
	До испытаний 14.03.05		после 3 циклов 17.03.05			после 5 циклов 21.03.05			после 8 циклов 24.03.05			после 12 циклов 30.03.05		
	R, МПа	R <sub>ср</sub> , МПа	R, МПа	R <sub>ср</sub> , МПа	ΔR, %	R, МПа	R <sub>ср</sub> , МПа	ΔR, %	R, МПа	R <sub>ср</sub> , МПа	ΔR, %	R, МПа	R <sub>ср</sub> , МПа	ΔR, %
Серия 1, Пенетрон	28,7 32,4 29,5	30,2	27,7 28,6 31,0	29,1	- 3,6	27,4 29,2 29,5	28,7	- 4,9	21,2 23,8 25,2	23,4	- 22,5	разрушение		
Серия 2, Пенекрит	28,5 28,1 25,9	27,5	29,4 28,3 26,9	28,2	+ 2,5	27,0 27,5 29,5	28,0	+ 1,8	26,9 25,7 27,8	26,8	- 2,5	25,8 27,4 26,0	26,4	- 4,0
Серия 3, Ватерплаг	16,0 14,3 14,1	14,8	14,1 15,5 15,6	15,0	+ 1,3	13,8 15,1 14,3	14,4	- 2,7	14,2 13,8 13,1	13,7	- 7,4	12,5 10,8 12,3	11,9	- 19,6
Серия 4, Пенеплаг	8,0 8,8 10,5	9,1	9,8 8,9 9,2	9,3	+ 2,2	8,9 8,3 9,8	9,0	- 1,1	8,0 8,8 9,3	8,7	- 4,4	7,9 7,6 8,8	8,1	- 10,9
Серия 5, контроль- ные образцы	25,8 27,5 32,5	28,6	28,8 26,1 27,3	27,4	- 4,2	25,2 22,6 23,0	23,6	- 17,5	разрушение			разрушение		

### 3.7. Определение прочности сцепления материалов системы ПЕНЕТРОН с бетоном

Определение прочности сцепления (адгезии) материалов системы ПЕНЕТРОН с бетоном проводили в соответствии с ГОСТ 28574-90 «Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий». Для определения количественной величины адгезии материалов к бетону использовали метод нормального отрыва, заключающийся в измерении силы отрыва покрытия от защищаемой поверхности при помощи приклеенного к покрытию металлического штампа и динамометра.

Бетонные образцы с материалами закрепляли в приборе для испытаний. Металлические штампы, наклеенные на образцы, соединяли шарнирно с захватным устройством прибора. Величину силы растяжения, при которой произошел отрыв штампа, определяли по шкале динамометра, фиксировали зону и вид разрушения в месте отрыва штампа и определяли площадь отрыва.

Определение прочности сцепления (адгезии) материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг с бетоном проводили в разные сроки – через 3 и 28 суток после нанесения материала на бетонный образец и хранения образцов в камере естественного твердения. Образцы, обработанные Пенетроном, увлажняли в течение 3 суток, затем выдерживали 3 суток при капиллярном подсосе и 28 суток при комнатных условиях.

Величину адгезии (R) материала вычисляли по формуле:

$$R = \frac{F}{A}, \text{ МПа}$$

где F – значение силы, при которой произошел отрыв, Н;

A – площадь отрыва, м<sup>2</sup>.

При обработке результатов испытаний пяти образцов–близнецов исключали экстремальные значения (отклоняющиеся более, чем на 15 % от

среднеарифметического) и определяли среднее значение не менее, чем по 3 образцам.

Толщина нанесенных материалов Пенекрит, Ватерплаг, Пенеплаг составила 20 мм в один слой, Пенетрона – 0,8 мм в два слоя.

Результаты испытаний представлены в таблицах 13 и 14.

Анализ результатов определения адгезии материалов позволяет отметить следующее.

1. Прочность сцепления с бетоном материала Ватерплаг составляет 0,3 МПа, при этом сроки выдержки образцов до испытаний не повлияли на величину адгезии.

2. Величина адгезии к бетону материалов Пенекрит и Пенеплаг возросла в процессе хранения и в возрасте 28 суток составила 1,9 и 2,5 МПа соответственно. Отрыв материала Пенекрит происходил по границе с бетоном, а Пенеплага по самому материалу. Следовательно, прочность сцепления Пенеплага с бетоном выше прочности на разрыв самого материала.

3. Материал Пенетрон имеет высокую адгезию к бетону, величина которой составляет 2,6 МПа.



Таблица 13.

## Определение прочности сцепления адгезии материалов системы ПЕНЕТРОН с бетоном по ГОСТ 28574

Маркировка образцов (серии)	Сведения об образцах				Дата			Результаты испытаний образцов, R, МПа	Результат по серии образцов, R, Мпа	Примечание (характер отрыва)
					изготовления образцов	нанесения покрытия	проведения испытаний			
	Вид основы	Наименование материала	Толщина, количество слоев	Условия хранения						
Серия 1	Бетон (влажный) В22,5	Пенетрон	0,8-1,0 мм 2 слоя	3 суток – увлажнение, 3 суток – кап. подсос, 28 суток при комнатных условиях	16.12.04	17.01.05	21.02.05	1 – 2,5 2 – 2,8 3 – 2,7 4 – 2,5 5 – 2,6	2,6	Отрыв покрытия от бетона
Серия 2	Бетон (влажный) В22,5	Пенекрит	20 мм, 1 слой	3 суток в камере нормального твердения	27.12.04	31.01.05	3.02.05	1 – 1,4 2 – 1,4 3 – 1,5 4 – 1,5 5 – 1,7	1,5	Отрыв покрытия от бетона
Серия 3	Бетон (влажный) В22,5	Ватерплаг	20 мм, 1 слой	3 суток в камере нормального твердения	27.12.04	31.01.05	3.02.05	1 – 0,31 2 – 0,26 3 – 0,28 4 – 0,31 5 – 0,31	0,29	Отрыв покрытия от бетона

Серия 4	Бетон (влажный) В22,5	Пенеплаг	20 мм, 1 слой	3 суток в камере нормального твердения	27.12.04	31.01.05	3.02.05	1 – 1,9 2 – 2,0 3 – 1,7 4 – 1,9 5 – 1,7	Более 1,9	Разрыв по материалу
---------	-----------------------------	----------	------------------	---	----------	----------	---------	---	-----------	------------------------

Таблица 14.

Определение прочности сцепления адгезии материалов системы ПЕНЕТРОН с бетоном по ГОСТ 28574

Марки- ровка образцов (серии)	Сведения об образцах				Дата			Результаты испытаний образцов, R, МПа	Результат по серии образцов, R, Мпа	Примечание (характер отрыва)
					изготов- ления образцов	нанесе- ния покры- тия	прове- дения испыта- ний			
	Вид основы	Наимено- вание материала	Толщина, количество слоев	Условия хранения						
Серия 2	Бетон (влажный) В22,5	Пенекрит	20 мм, 1 слой	28 суток в камере нормального твердения	27.12.04	08.02.05	09.03.05	1 – 1,8 2 – 2,1 3 – 2,0 4 – 1,8 5 – 1,9	1,9	Отрыв покрытия от бетона
Серия 3	Бетон (влажный) В22,5	Ватерплаг	20 мм, 1 слой	28 суток в камере нормального твердения	27.12.04	08.02.05	09.03.05	1 – 0,3 2 – 0,29 3 – 0,28 4 – 0,31 5 – 0,31	0,3	Отрыв покрытия от бетона

Серия 4	Бетон (влажный) В22,5	Пенеплаг	20 мм, 1 слой	28 суток в камере нормального твердения	27.12.04	08.02.05	09.03.05	1 – 2,6 2 – 2,5 3 – 2,5 4 – 2,4 5 – 2,6	Более 2,5	Разрыв по материалу
---------	-----------------------------	----------	------------------	--	----------	----------	----------	---	-----------	------------------------



#### 4. Общие выводы

Результаты проведенных испытаний материалов системы ПЕНЕТРОН для бетона позволяют сделать следующие выводы:

1. Система покрытия на основе материала Пенетрон обладает высокими эксплуатационными свойствами на бетоне – повышает прочность бетона на 7 %, увеличивает марку бетона по водонепроницаемости на 4 ступени (с W2 до W10) при прямом давлении воды и на 3 ступени (с W2 до W8) при обратном давлении воды, повышает морозостойкость в 2 раза (с 100 до 200 циклов) и обладает высокими адгезионными свойствами по отношению к бетону (2,6 МПа).

2. Материал Пенекрит имеет высокую прочность на сжатие 28,0 МПа в возрасте 28 суток, отмечен значительный прирост прочности Пенекрита через 7 суток (24,8 МПа) по сравнению с прочностью через 24 часа, которая не превышала 2,5 МПа. Марка по морозостойкости материала Пенекрит – F400, марка по водонепроницаемости – W14, показатель адгезии к бетону в возрасте 28 суток составляет 1,9 МПа.

3. Материал Ватерплаг имеет марку по водонепроницаемости W14, марку по морозостойкости F200, прочность на сжатие в возрасте 28 суток – 16,7 МПа. Следует отметить низкую прочность сцепления материала с бетоном, которая не превышает 0,3 МПа и не зависит от времени выдержки материала до испытания.

4. Материал Пенеплаг обладает высокими адгезионными свойствами к бетону более 2,5 МПа, прочность на сжатие в возрасте 28 суток составляет 16,6 МПа, марка по водонепроницаемости W16, марка по морозостойкости F300.

5. Результаты комплексных исследований материалов системы Пенетрон по основным показателям качества, приведенные в обобщенной таблице 15, свидетельствует о высоких эксплуатационных свойствах

материалов, что позволяет рекомендовать их для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций.

Таблица 15.

Результаты испытаний материалов системы ПЕНЕТРОН  
по основным показателям качества.

№ п/п	Наименование показателя	Результаты испытаний				
		образцы бетона (контро- льные)	образцы бетона с материалом (образцы из материалов)			
			Пенетрон	Пенекрит	Ватерплаг	Пенеплаг
1	Внешний вид	–	сыпучий порошок серого цвета	сыпучий порошок серого цвета	сыпучий порошок серого цвета	сыпучий порошок серого цвета
2	Влажность материала, % по массе	–	1,17	0,77	0,59	2,08
3	Сроки схватывания: - начало, не ранее - конец, не позднее	–	55 мин 1ч 30 мин	45 мин 1ч 30 мин	2 мин 5 мин	2 мин 4 мин
4	Насыпная плотность, кг/л	–	1,23	1,30	1,22	1,05
5	Прочность на сжатие материала, МПа: - через 24 часа - через 7 суток - через 28 суток	– – 31,9	–	2,5 24,8 28,0	9,6 14,4 16,7	6,3 14,6 16,6
6	Прочность на сжатие бетона с Пенетроном, МПа	–	34,2	–	–	–
7	Прочность сцепления с бетоном (адгезия), МПа - через 3 суток - через 28 суток	–	– 2,6	1,5 1,9	0,3 0,3	Более 1,9 Более 2,5
8	Марка по морозостойкости материала, циклы	100	–	400	200	300
9	Марка по морозостойкости бетона с Пенетроном, циклы	–	200	–	–	–
10	Марка по водонепроницаемости материала, МПа	W2	–	W14	W14	W16
11	Марка по водонепроницаемости бетона с Пенетроном, МПа: - прямое давление - обратное давление	–	W10 W8	–	–	–