

Государственное унитарное предприятие
 "Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и
 технологический институт бетона и железобетона"
 ГУП "НИИЖБ"



Утверждаю:
 Зам. директора ГУП НИИЖБ
 Мухамедиев Т.А.
 " " 2003г.

ОТЧЁТ

по теме: Провести коррозионные испытания различных модификаций базальтопластиковой (БПА) арматуры "Гален" с целью использования её для изготовления гибких связей" (х/д № 312 от 8 апреля 2002г.)

Зав. лабораторией коррозии
 и долговечности бетонных и железобетонных конструкций

В.Ф. Степанова

Зав. сектором коррозии бетона

Н.К. Розенталь

Ведущий научный сотрудник

Г.М. Красовская

Старший научный сотрудник

Г.В. Чехний

Москва, 2003 г.

Список исполнителей

Степанова В.Ф. – зав. лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, к.т.н. – руководитель темы

Розенталь Н.К. – зав. сектором коррозии бетона, к.т.н. – участие в экспериментах и написании отчета

Красновская Г.М. – ведущий научный сотрудник, к.т.н. – участие в экспериментах и написании отчета

Чехний Г.В. – старший научный сотрудник, к.т.н. – участие в экспериментах и написании отчета

Паршина И.М. – инженер – участие в экспериментальных работах

Белодед Д.М. – аспирант – участие в экспериментальных работах

Содержание

	Введение.....	5
1.	Опытные партии базальтопластиковой арматуры и методы исследования коррозионной стойкости.....	6
	1.1 Опытные партии.....	6
	1.2 Методы исследования.....	7
2	Химические исследования коррозионной стойкости экспериментальных партий базальтопластиковой арматуры.....	11
	2.1 Ускоренные коррозионные испытания в щелочи, насыщенном растворе гидроксидов кальция и цементной вытяжке.....	11
	2.2 Испытания базальтопластиковой арматуры в бетоне.....	21
3	Исследование влияния температурных воздействий на стойкость стержневой базальтопластиковой арматуры..	23
	3.1 Влияние тепловлажностной обработки на коррозионную стойкость базальтопластиковой арматуры.....	23
	3.2 Влияние воздействия отрицательных температур на коррозионную стойкость.....	24
4	Исследование влияния уровня напряжения на склонность к хрупкому коррозионному разрушению БПА.....	25
5	Общие выводы.....	29

Введение

Работа выполняется по заказу ООО "Гален" (х/д № 312 от 8 апреля 2002 г.).

Полимерные композиционные материалы занимают все более прочные позиции в современной технике, вытесняя традиционные конструкционные материалы. Это обусловлено не только их высокой удельной прочностью, но и такими эксплуатационными свойствами, как коррозионная стойкость, морозостойкость, теплофизические свойства и др.

Опыт эксплуатации изделий из стеклопластиков показал их недостаточную стойкость к действию щелочей в среде твердеющего бетона. Повышение коррозионной стойкости решают несколькими путями:

- используют полимерные связующие, обладающие повышенной химической стойкостью;
- дополнительно защищают арматуру химически стойкими лакокрасочными материалами;
- дополнительно обрабатывают поверхность минерального волокна.

Более радикальным является использование волокон, стойких к действию щелочных сред, например, базальтового волокна.

Работы по созданию базальтопластиковой арматуры являются перспективными по следующим причинам:

- запасы сырья для получения непрерывного базальтового волокна практически не ограничены, а само сырье дешево;
- технология получения базальтового волокна принципиально не отличается от технологии изготовления стеклянных волокон.
- базальтопластиковая арматура может быть эффективно использована для армирования ненапрягаемых конструкций.

Рациональное применение базальтопластиковой арматуры в изделиях из бетона должно основываться на исследовании химической стойкости, при этом высокие физико-механические характеристики являются необходимым, но недостаточным условием их успешного применения. Химически активные среды необратимо изменяют структуру и свойства БПА, разрушая как компоненты, так и связь между наполнителем и матрицей.

В связи с этим одной из целей настоящей работы является исследование стойкости базальтопластиков в средах, образующихся при твердении цемента, а также в процессе эксплуатации при контакте с цементным камнем.

1. Опытные партии базальтопластиковой арматуры и методы исследования коррозионной стойкости

1.1. Опытные партии базальтопластиковой арматуры

ООО "Гален" были изготовлены и представлены 4 модификации базальтопластиковой арматуры. Составы и характеристики БПА (двух модификаций), представленные заказчиком в письме № 115 от 8 июля 2002 г., приведены в таблице 1. Образцы БПА состава №3 представлены в ноябре 2002 г., состава №4 - в мае 2003г. Механические характеристики составов №3 и №4 представлены факсом.

Таблица 1

Составы и характеристики БПА

№ партии	Состав	Особенности технологии	Механические характеристики		
			Прочность стержня при растяжении, МПа	Изгибающее напряжение, МПа	Усилие вырыва арматуры из бетона, Н
Состав 1	1. Базальторовинг 2. Эпоксидная смола	Пултрузия, скорость протяжки 70 см в минуту	1000	350	12000
Состав 2	1. Базальторовинг 2. Эпоксидная смола 3. Дополнительная механическая обработка	Пултрузия + вакуумирование + дополнительное покрытие, скорость протяжки 70 см в минуту	1200	400	12000
Состав 3	1. Базальторовинг 2. Эпоксидная смола	Пултрузия + вакуумирование, скорость протяжки 3м в минуту	1260	1000	12000
Состав 4	1. Базальторовинг 2. Эпоксидная смола /новый состав связки/	Пултрузия + вакуумирование, скорость протяжки 3 м в минуту	1162	1080	12000

состав 1 - диаметр арматуры 5,5-5,6 мм;
состав 2 - диаметр арматуры 5,75-5,8 мм;
состав 3 - диаметр арматуры 6,0 мм;
состав 4 - диаметр арматуры 5,5 мм.

1.2. Методы исследования

Стандартные методы испытаний композитных материалов не разработаны. В данной работе экспериментальные исследования стойкости базальтопластиковой арматуры (БПА) 4-х модификаций выполнялись методами, разработанными НИИЖБ.

Метод 1. Испытание БПА в 1Н растворе щелочи NaOH при температурах 20, 55 и 80°C.

Концентрация щелочи NaOH выбрана на основании следующего расчета. Принимаем:

- содержание цемента в 1 м³ бетона - 400 кг,
- содержание щелочей в цементе 0,6 и 1,2 % (цементы с низким и высоким содержанием щелочей),
- содержание влаги в бетоне при полном насыщении бетона с пористостью 5%:

$$2300 \times \frac{5}{100} = 115 \text{ л} / \text{м}^3$$

Содержание щелочи в 1 м³ бетона при использовании цементов с низким и высоким содержанием щелочей составит:

$$400 \times \frac{0,6}{100} = 2,4 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$400 \times \frac{1,2}{100} = 4,8 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Таблица 2

Концентрация щелочей в жидкой фазе бетона

Содержание щелочи в цементе, %	Концентрация щелочи в жидкой фазе бетона,
	Насыщенного
0,6	2,086
	0,52
1,2	4,174
	1,04

Таким образом, в жидкой фазе насыщенного бетона концентрация щелочи составляет около 1 моля в литре. Такая концентрация щёлочи принята в агрессивном растворе при испытании БПА.

Представленные опытные партии БПА были распилены на образцы длиной 15 см. Концы образцов были изолированы эпоксидной смолой. Подготовленные образцы, предварительно кондиционированные при температуре 20 ± 2 С и относительной влажности $65\pm 5\%$ в течение 24 часов, взвешивали и затем экспонировали в испытательной среде в течение 30 суток. Влияние агрессивности среды оценивали по изменению массы. В каждой партии испытывали по 6 образцов и рассчитывали среднее значение. Через 7, 14, 21 и 30 суток образцы извлекали из испытательной среды, промывали тёплой водой, протирали фильтровальной бумагой и высушивали при температуре 60°C в течение 2 часов. Затем образцы испытывали на машине типа П-10. Перед испытанием образцы кондиционировали при температуре 20 ± 2 С и относительной влажности $65\pm 5\%$ в течение 24 часов и взвешивали. Показателем стойкости образца служила величина разрушающей нагрузки, приложенной к образцу после коррозионных испытаний, отнесенная к разрушающей нагрузке для образцов, не подвергавшихся коррозионным испытаниям. Определение разрушающей нагрузки выполняли с учётом ГОСТ 14019 "Металлы и сплавы. Методы испытания на изгиб".

Метод 2. Испытание БПА в насыщенном растворе гидроксида кальция при температуре 20 С.

Насыщенный раствор гидроксида кальция готовили следующим образом. В 1 л дистиллированной воды засыпали 5 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$, перемешивали и настаивали в течение 5 суток в закрытой емкости, периодически встряхивая (5-6 раз в день). Величина рН полученного раствора была определена титрованием и составила 12,38.

Испытания выполняли аналогично испытаниям в 1Н растворе щелочи при температуре 20 С.

Сроки испытания 30, 90 и 240 сут.

Метод 3. Испытание БПА в цементной вытяжке при температуре 20°C .

Цементную вытяжку готовили смешиванием портландцемента М400 Д5 Воскресенского завода с дистиллированной водой в соотношении 1:3 в закрытой ёмкости. Содержание щелочей в портландцементе Воскресенского завода составляло в пересчёте на

R₂O 1,2%. Смесь в течение дня перемешивали через 30-40 минут. Через 24 часа жидкость сливали, отфильтровывали и определяли pH. Величина pH равнялась 12,56.

Испытания выполняли аналогично испытаниям в 1Н растворе щелочи при температуре 20°C. Сроки испытания 30, 90 и 240 сут.

Результаты ускоренных испытаний в растворах NaOH, Ca(OH)₂ и цементной вытяжке использованы как сравнительные при оценке относительной щелочестойкости БПА.

Механизм химического разрушения БПА в бетоне носит сложный характер. Он включает в себя диффузионные процессы, протекающие для различных ионов с различной скоростью, химические реакции компонентов волокна, в первую очередь силикатов и алюминатов с щелочными соединениями агрессивной среды, образование относительно растворимых силикатов щелочных металлов и слабо растворимых силикатов кальция с блокированием этими соединениями путей диффузии и многое другое. Скорость разрушения БПА в щелочных растворах не может быть экстраполирована на условия службы арматуры в среде бетона. С учётом этого помимо ускоренных испытаний в щелочных растворах выполнены испытания БПА непосредственно в бетоне.

Метод 4. Испытания БПА в мелкозернистом бетоне.

Из мелкозернистого бетона состава Ц:П=1:4 с водоцементным отношением 0,5 были изготовлены призмы размерами 10x10x4см и размерами 7x7x14 см. Использовали материалы:

- портландцемент М400 Д5 Воскресенского завода;
- песок кварцевый с $M_{fb}=2,1$.

При формовании в середину каждой призмы был заложен образец БПА. Предварительно концы образцов БПА изолировали эпоксидной смолой. Часть призм подвергают тепловлажностной обработке по режиму (3+6)ч при температуре изотермической выдержки 80 С, часть образцов после ТВО испытывают на морозостойкость по третьему ускоренному методу ГОСТ 10060. часть образцов после ТВО хранится в камере нормального твердения (температура 20+-°С, относительная влажность 90%).

По истечении определенного времени бетонные образцы раскалывают, извлекают образец БПА и определяют разрушающую нагрузку. Показателем стойкости образцов служит величина разрушающей нагрузки, приложенной к образцу после коррозионных испытаний, отнесенная к разрушающей нагрузке для

образцов, не подвергавшихся коррозионным испытаниям. Определение разрушающей нагрузки выполняют с учётом ГОСТ 14019 "Металлы и сплавы. Методы испытания на изгиб".

**2. Химические исследования коррозионной стойкости
экспериментальных партий базальтопластиковой арматуры**

**2Л. Ускоренные коррозионные испытания в щелочи,
насыщенном растворе гидроксида кальция и цементной
вытяжке**

Результаты испытаний представлены в таблицах 3-17.

Таблица 3

Результаты определения изменений массы БПА в процессе
испытания в 1N растворе гидроксида натрия при температуре 20 С

№ состав а	Исходная масса, г	7 суток		14 суток		21 сутки		30 суток	
		Мас- са, г	Изме- нение массы +-%	Мас- са, г	Изме- нение массы +-%	Мас- са, г	Изме- нение массы +-%	Масса, г	Изме- нение массы +-%
1	6,60	6,65	+0,8	6,68	+1,2	6,67	+1,1	6,70	+ 1,5
	6,67	6,70	+0,5	6,73	+0,9	6,73	+0,9	6,77	+ 1,5
	6,78	6,83	+0,7	6,86	+1,2	6,86	+1,2	6,87	+1,3
	6,67	6,74	+1,0	6,75	+1,2	6,76	+ 1,3	6,79	+ 1,8
	6,91	6,99	+1,2	7,0	+ 1,3	7,09	+2,6	7,02	+ 1,6
	6,86	6,93	+1,0	6,94	+1,2	6,98	+1,7	6,98	+1,7
Среднее значение			+0,9	+1,2	+1,5	+1,6			
2	8,27	8,32	+0,6	8,35	+0,6	8,37	+1,2	8,37	+ 1,2
	8,30	8,34	+0,5	8,38	+1,0	8,39	+1,1	8,42	+ 1,4
	8,27	8,31	+0,5	8,34	+0,8	8,35	+1,0	8,38	+ 1,3
	8,20	8,23	+0,4	8,25	+0,6	8,27	+0,9	8,28	+ 1,0
	8,31	8,38	+0,8	8,40	+1,1	8,43	+ 1,4	8,43	+1,4
	8,37	8,41	+0,5	8,42	+0,6	8,44	+0,8	8,46	+ 1,1
Среднее значение			+0,6	+0,9	+1,1	+1,2			
	6,78	6,78	0	6,79	+0,1	6,79	+0,1	6,81	+0,4
	6,89	6,89	0	6,90	+0,1	6,90	+0,1	6,92	+0,4
	6,87	6,88	+0,1	6,88	+0,1	6,89	+0,3	6,91	+0,6
	6,83	6,83	0	6,84	+0,1	6,85	+0,3	6,88	+0,7
	6,78	6,79	+0,1	6,79	+0,1	6,80	+0,3	6,86	+ 1,2
	6,89	6,90	+0,1	6,90	+0,1	6,90	+0,1	6,95	+0,9
Среднее значение			+0,05	+0,1	+0,2	+0,7			
4	7,04	-	-	-	-	-	-	7,04	0
	7,19	-	-	-	-	-	-	7,19	0
	7,17	-	-	-	-	-	-	7,18	+0,1
	7,14	-	-	-	-	-	-	7,17	+0,4*
	7,14	-	-	-	-	-	-	7,15	+0,1
	7,13	-	-	-	-	-	-	7,14	+0,1
Среднее значение		-	-	-	-	-	+0,1		

* Результат отбракован.

Таблица 4

Результаты определения изменений массы БПА в процессе испытания в 1 Н растворе гидроксида натрия при температуре 55 С

№ состава	Исходная масса, г	7 суток		14 суток		21 сутки		30 суток	
		Масса, г	Изменение массы +/-, %	Масса, г	Изменение массы +/-, %	Масса, г	Изменение массы +/-, %	Масса, г	Изменение массы +/-, %
1	6,65	6,72	+1,1	6,76	+1,7	6,83	+2,7	6,87	+3,3
	6,89	6,99	+1,5	7,05	+2,3	7,15	+3,8	7,16	+3,9
	6,69	6,78	+1,3	6,84	+2,2	6,88	+2,8	6,90	+3,1
	6,98	7,09	+1,6	7,12	+2,0	7,22	+3,4	7,29	+4,4
	6,66	6,76	+1,5	6,79	+2,0	6,84	+2,7	6,87	+3,2
	6,78	6,89	+1,6	6,94	+2,4	7,01	+3,4	7,05	+4,0
Среднее значение			+1,43	+2,1		+3,1		+3,7	
2	8,26	8,33	+0,8	8,37	+1,3	8,47	+2,5	8,49	+2,8
	8,23	8,31	+1,0	8,36	+1,6	8,47	+2,9	8,49	+3,2
	8,16	8,25	+1,1	8,28	+1,5	8,38	+2,7	8,36	+2,5
	8,28	8,37	+1,1	8,41	+1,6	8,50	+2,7	8,58	+3,6
	8,31	8,39	+1,0	8,48	+2,0	8,52	+2,5	8,63	+3,9
	8,28	8,37	+1,1	8,41	+1,6	8,47	+2,3	8,55	+3,3
Среднее значение			+1,02	+1,6		+2,6		+3,2	
3	6,79	6,80	+0,1	6,82	+0,4	6,85	+0,9	6,85	+0,9
	6,86	6,88	+0,3	6,88	+0,3	6,90	+0,6	6,90	+0,6
	6,80	6,81	+0,1	6,83	+0,4	6,86	+0,9	6,86	+0,9
	6,77	6,79	+0,3	6,80	+0,4	6,82	+0,7	6,83	+0,9
	6,79	6,81	+0,3	6,81	+0,3	6,83	+0,6	6,83	+0,6
	6,83	6,84	+0,1	6,86	+0,4	6,88	+0,7	6,88	+0,7
Среднее значение			+0,2	+0,4		+0,7		+0,8	
4	7,19	-	-	-	-	-	-	7,21	+0,3
	7,18	-	-	-	-	-	-	7,21	+0,4
	7,10	-	-	-	-	-	-	7,15	+0,7
	7,00	-	-	-	-	-	-	7,00	+0,9
	7,18	-	-	-	-	-	-	7,19	+0,1
	6,98	-	-	-	-	-	-	7,02	+0,6
Среднее значение		-		-		-		+0,5	

Таблица 5

Результаты определения изменений массы БПА в процессе испытания в 1N растворе гидроксида натрия при температуре 80 С

№ состава	Исходная масса, г	7 суток		14 суток		21 сутки		30 суток	
		Масса, г	Изменение массы +/-,%	Масса, г	Изменение массы +/-,%	Масса, г	Изменение массы +/-,%	Масса, г	Изменение массы +/-,%
1	6,69	6,72	+0,4	6,82	+1,9	6,98	+4,3	6,98	+4,3
	7,10	7,29	+2,7	7,31	+3,0	7,33	+3,2	7,39	+4,1
	6,85	7,03	+2,6	7,07	+3,2	7,06	+3,1	7,07	+3,2
	6,71	6,99	+4,2	7,04	+4,9	7,06	+5,2	7,08	+5,5
	7,05	7,33	+4,0	7,36	+4,4	7,39	+4,8	7,40	+5,0
	6,72	6,95	+3,4	6,98	+3,9	7,02	+4,5	7,03	+4,6
Среднее значение			+2,9	+3,6		+4,2		+4,5	
2	8,27	8,43	+1,9	8,49	+2,7	8,49	+2,7	8,60	+4,0
	8,32	8,47	+1,8	8,51	+2,3	8,53	+2,5	8,60	+3,4
	8,30	8,65	+4,2	8,55	+3,0	8,64	+4,1	8,75	+5,4
	8,22	8,43	+2,6	8,35	+1,6	8,48	+3,2	8,59	+4,5
	8,35	8,59	+2,9	8,57	+2,6	8,68	+4,0	8,81	+5,5
	8,28	8,37	+1,1	8,39	+1,3	8,47	+2,3	8,55	+3,3
Среднее значение			+2,42	+2,3		+3,1		+4,4	
3	6,90	6,93	+0,4	6,95	+0,7	6,99	+1,3	6,99	+1,3
	6,84	6,87	+0,4	6,90	+0,9	6,93	+1,3	6,96	+1,8
	6,76	6,78	+0,3	6,80	+0,6	6,82	+0,9	6,84	+1,2
	6,77	6,79	+0,3	6,80	+0,4	6,82	+0,7	6,83	+1,9
	6,79	6,81	+0,3	6,82	+0,4	6,83	+0,6	6,83	+1,6
	6,83	6,84		6,85	+0,3	6,88	+0,7	6,88	+1,7
Среднее значение			+0,3	+0,6		+0,9		+1,6	
4	7,15	-	-	-	-	-	-	7,28	+1,8
	7,09	-	-	-	-	-	-	7,30	+1,5
	7,06	-	-	-	-	-	-	7,24	+2,5*
	7,28	-	-	-	-	-	-	7,38	+1,4
	7,19	-	-	-	-	-	-	7,28	+1,3
	7,03	-	-	-	-	-	-	7,21	+2,6*
Среднее значение		-		-		-		+1,5	

*Результат отбракован.

Результаты определения изменений массы образцов БПА в растворах щелочи при температурах 20, 55 и 80°C показали:

- с повышением температуры испытания увеличивается прирост массы образцов;
- наименьший прирост массы после 30 суток испытания имеют образцы состава №4.

Таблица 6

Результаты определения разрушающей нагрузки при изгибе БПА после испытания в 1Н растворе гидроксида натрия при температуре 20°С в течение 30 суток

№ состава	№ образца	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная, кгс	После 30 суток испытания	
			Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение нагрузки, +, -, %
1	1	187	90	-51,9
	2		100	-46,5
	3		ПО	-41,2
Среднее значение			100	-46,5
2	1	203	120	-40,9
	2		100	-50,7
	3		100	-50,7
Среднее значение			107	-47,4
3	1	160	90	-43,8
	2		80	-50,0
	3		100	-37,5
Среднее значение			90	-43,8
4	1	100	80	-20,0
	2		100	0
	3		80	-20,0
	4		85	-15,0
	5		85	-15,0
	6		120	+20,0
Среднее значение			91,7	-8,3

Таблица 7

Результаты определения разрушающей нагрузки при изгибе БПА после испытания в 1Н растворе гидроксида натрия при температуре 20°С в течение 90 суток

№ состава	№ образца	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная, кгс	После 90 суток испытания	
			Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Снижение нагрузки, %
1	1	187	10	94,7
	2		10	94,7
	3		20	89,3
Среднее значение			13	92,9
2	1	203	40	80,3
	2		40	80,3
	3		40	80,3

Среднее значение			40	80,3
3	1	160	80	50,0
	2		60	62,5
			60	62,5
Среднее значение			67	58,3

Снижение разрушающей нагрузки при изгибе образцов состава №4 за 30 суток при испытании в растворе щелочи при температуре 20 С примерно в 5-6 раз меньше, чем образцов составов № 1, 2 и 3. Через 90 суток испытания в указанных условиях образцы составов №1 и №2 показали снижение разрушающей нагрузки на 80,3-92,9%. При этом снижение разрушающей нагрузки при изгибе образцов состава №3 составило 58,3%- Образцы состава №4 на этот срок не испытывали.

Таблица 8

Результаты определения разрушающей нагрузки при изгибе БПА после испытания в 1Н растворе гидроксида натрия при температуре 55°С в течение 30 суток

№ состава	№ образца	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная, кгс	После 30 суток испытания	
			Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение нагрузки, +, %, %
1	1	187	80	-57,2
	2		80	-57,2
	3		80	-57,2
Среднее значение			80	-57,2
2	1	203	90	-55,7
	2		90	-55,7
			90	-55,7
Среднее значение			90	-55,7
3	1	160	90	-43,8
	2		80	-50,0
	3		60	-62,5
Среднее значение			77	-52,1
4	1	100	130	+30,0
	2		70	-30,0
	3		70	-30,0
	4		100	0
	5		60	-40,0
	6		60	-40,0
Среднее значение			81,7	-18,3

Таблица 9

Результаты определения разрушающей нагрузки при изгибе БПА после испытания в 1Н растворе гидроксида натрия при температуре 55°С в течение 90 суток

№ соста ва	№ образ на	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная, кгс	После 90 суток испытания	
			Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Снижение нагрузки, %
1	1	187	Испытать не удалось. Образцы разрушались в момент зажима между опорами	-
	2			-
	3			-
	Среднее значение			-
2	1	203	Испытать не удалось. Образцы разрушались в момент зажима между опорами	-
	2			-
	3			-
	Среднее значение			-
3	1	160	20	87,5
	2		20	87,5
	3		30	81.3
	Среднее значение		23	85.4

По сравнению с испытаниями при 20 С получены аналогичные данные при испытании образцов в растворе щелочи при температуре 55°С. Через 30 суток испытания наименьшее повреждение имеют образцы БПА состава №4 - снижение разрушающей нагрузки при изгибе составило в среднем 18,3%- К этому сроку испытания снижение разрушающей нагрузки образцов составов №№ 1-3 находится в пределах 18,3 - 57,2%. Через 90 суток испытания образцы составов №1 и №2 испытать не удалось, т.к. образцы ломались в момент зажима между опорами. Значительные повреждения имели образцы состава №3. Состав №4 не испытывался.

Таблица 10

Результаты определения разрушающей нагрузки при изгибе БПА после испытания в 1Н растворе гидроксида натрия при температуре 80°С в течение 30 суток

№ состава	№ образца	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная, кгс	После 30 суток испытания	
			Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение нагрузки, +/-, %
1	1	187	Испытать не удалось. Образцы разрушались в момент зажима между опорами	-
	2			-
	3			-
	Среднее значение			-

2	1	203	Испытать не удалось. Образцы разрушались в момент зажима между опорами	-
	2			-
	3			-
Среднее значение			-	-
3	1	160	20	-87,5
	2		20	-87,5
	3		30	-81,3
Среднее значение			23	-85,4
4	1	100	60	-40,0
	2		40	-60,0
	3		40	-60,0
	4		50	-50,0
	5		60	-40,0
	6		45	-55,0
Среднее значение			49,2	-50,8

В условиях воздействия щелочи при температуре 80 С через 30 суток образцы составов №1 и №2 повреждены настолько, что испытать их не удалось. Снижение разрушающей нагрузки при испытании образцов состава №3 составило в среднем 85,4% по сравнению с контрольными образцами. Лучшие результаты показали образцы состава №4 (50%-ное снижение разрушающей нагрузки по сравнению с контрольными образцами).

Таблица 11

Результаты определения изменений массы и разрушающей нагрузки при изгибе БПА в процессе испытания в вытяжке из цемента при температуре 20 С через 30 суток испытания

№ состава	Исходная масса, г	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная кгс	После 30 суток испытания			
			Масса, г	Изменение массы, +-, %	Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение Нагрузки, +-, %
1	6,56	187	6,62	+0,9	190	+1,6
	6,67		6,73	+0,9	210	+12,3
	6,62		6,67	+0,8	200	+7,0
Среднее значение			+0,87		+7,0	
2	8,19	203	8,24	+0,6	200	-1,5
	8,23		8,28	+0,6	200	-1,5
	8,35		8,42	+0,8	210	+3,4
Среднее значение			+0,66		+0,13	
3	6,96	160	6,96	0	120	-25,0

	6,83		6,83	0	120	-25.0
	6,88		6,88	0	100	-37.5
	Среднее значение		0		-29,2	

Таблица 12

Результаты определения изменений массы и разрушающей нагрузки при изгибе БПА в процессе испытания в вытяжке из цемента при температуре 20°С через 90 суток испытания

№ состава	Исходная масса, г	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная кгс	После 90 суток испытания			
			Масса, г	Изменение массы, +, %	Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение нагрузки, +, %
1	6,89	187	6,97	+ 1,2	160	-14,4
	7,00		7,09	+ 1,3	160	-14,4
	6,61		6,67	+0,9	150	-19,8
Среднее значение			+1,13		-16,2	
2	8,32	203	8,38	+0,7	160	-21,2
	8,26		8,32	+0,7	180	-11,3
	8,43		8,50	+0,8	150	-26,1
Среднее значение			+0,73		-19.5	
3	6,76	160	6,78	+0,3	130	-18,8
	6,98		6,99	+0,1	120	-25,0
	6,81		6,82	+0,1	130	-18,8
			+0,16		-20.9	

Таблица 13

Результаты определения изменений массы и разрушающей нагрузки при изгибе БПА в процессе испытания в вытяжке из цемента при температуре 20 С после 240 суток испытания

№ состава	Исходная масса, г	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная кгс	После 240 суток испытания			
			Масса, г	Изменение массы, +, %	Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение Нагрузки, +, %
1	6,64	187	6,71	+1,1	140	-25,1
	6,78		6,86	+1,2	140	-25,1
	6,67		6,75	+1,2	140	-25,1
Среднее значение			+1,2		-25.1	
2	8,15	203	8,22	+0,9	140	-31.0

	8,11		8,18	+0,9	130	-36,0
	8,34		8,42	+1,0	150	-26,1
Среднее значение			+0,93		-31,0	
3	6,76	160	6,77	+0,15	110	-31,3
	6,98		7,01	+0,43	110	-31,3
	6,81		6,84	+0,44	110	-31,3
Среднее значение			+0,34		-31,3	

По условиям договора состав №4, представленный в мае 2003г., в условиях воздействия цементной вытяжки не испытывали. В ранние сроки испытания (30, 90 суток) составы №1 и №2 показали лучшие результаты, чем состав №3. Однако через 240 суток испытания прочностные данные по составам №1- №3 примерно одинаковы. Снижение разрушающей нагрузки при испытании образцов составов №№1-3 после 240 суток испытания в цементной вытяжке при температуре 20°С находится в пределах 25,1 -31,3% по сравнению с контрольными образцами.

Таблица 14

Результаты определения изменений массы и разрушающей нагрузки при изгибе БПА в процессе испытания в растворе гидроксида кальция при температуре 20°С после 30 суток испытания

№ состава	Исходная масса, г	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная кгс	После 30 суток испытания			
			Масса, г	Изменение массы, +-, %	Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение нагрузки, +-, %
1	6,66	187	6,71	+0,8	200	+7,0
	6,85		6,87	+0,3	190	+1,6
	6,64		6,67	+0,5	190	+1,6
Среднее значение			+0,53		+3,4	
2	8,24	203	8,26	+0,2	180	-11,3
	8,16		8,19	+0,4	210	+3,4
	8,29		8,33	+0,5	220	+8,3
Среднее значение			+0,36		+0,1	
3	6,90	160	6,92	+0,3	120	-25,0
	6,95		6,98	+0,4	100	-37,5
	6,93		6,96	+0,4	100	-37,5
Среднее значение			+0,37		-55,5	

Таблица 15

Результаты определения изменений массы и разрушающей нагрузки при изгибе БПА в процессе испытания в растворе гидроксида кальция при температуре 20 С после 90 суток испытания

№ состава	Исходная масса, г	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная кгс	После 90 суток испытания			
			Масса, г	Изменение массы, +/-, %	Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение нагрузки, +/-, %
1	6,68	187	6,72	+0,6	220	+17,60
	6,64		6,68	+0,6	240	+28,3
	6,97		7,00	+0,4	220	+17,6
Среднее значение			+0,53		+21.2	
2		203	8,39	+0,5	160	-21,2
	8,27		8,33	+0,7	140	-31,0
	8,32		8,38	+0,7	130	-36,0
Среднее значение			+0,63		-29.4	
3	6,95	160	6,97	+0,3	90	-43,8
	6,97		6,99	+0,3	100	-37,5
	6,81		6,83	+0,3	110	-31,2
Среднее значение			+0,3		-37.5	

Таблица 16

Результаты определения изменений массы и разрушающей нагрузки при изгибе БПА в процессе испытания в растворе гидроксида кальция при температуре 20°С после 240 суток испытания

№ состава	Исходная масса, г	Разрушающая нагрузка при изгибе, исходная кгс	После 240 суток испытания			
			Масса, г	Изменение массы, +/-, %	Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Изменение нагрузки, +/-, %
1	6,67	187	6,74	+ 1,0	100	-46,5
	6,76		6,84	+1,2	120	-35,8
	6,66		6,76	+ 1,5	130	-30,5
Среднее значение			+1,2		-37.6	
2	8,27	203	8,34	+0,8	160	-21,2
	8,34		8,41	+0,8	140	-31,0
	8,37		8,44	+0,8	180	-11,3
Среднее значение			+0,8		-21.2	
3	6,85	160	6,88	+0,44	90	-43,75
	6,77		6,80	+0,44	100	-37,5
	6,93		6,97	+0,58	110	-31,25
Среднее значение			+0,49		-37.5	

Близкие результаты получены при испытании БПА в насыщенном растворе гидроксида кальция. После 240 суток испытания БПА составов №1 - №3 в указанном растворе при температуре 20 С снижения массы образцов не отмечено. Образцы БПА имеют примерно равное повреждение (снижение разрушающей нагрузки при изгибе составляет 21,2 - 37,5% по сравнению с контрольными образцами).

Таким образом, по результатам определения массы и разрушающей нагрузки при изгибе экспериментальных образцов БПА составов №1-№4 в процессе ускоренного испытания в 1Н растворе гидроксида натрия при температурах 20, 55 и 80 С более стойким является состав №4. В связи с тем, что состав БПА №4 был представлен намного позже предыдущих составов БПА и сверх предполагаемой программы, состав был испытан *по* неполной программе. Длительных испытаний на составе №4, в т. ч. в цементной вытяжке, растворе гидроксида кальция и бетоне, не проводилось. На основании выполненных испытаний базальтопластиковой арматуры в растворах щелочи при различных температурах следует отметить высокую стойкость представленных образцов базальтопластиковой арматуры состава №4. Составы БАП №1-№3 характеризуются невысокой коррозионной стойкостью.

2.2. Испытания базальтопластиковой арматуры в бетоне

Таблица 17

Результаты определения прочности при изгибе БПА,
испытанной в бетоне

№ состава	Разрушающая нагрузка при изгибе, кгс				
	Исходная	После 1 мес. в КНХ	После ТВО и 1 мес. в КНХ	После ТВО и 6 мес. в КНХ	После ТВО и 10 мес. в КНХ
1	187	180 190 200	200 180 210	210 200 210	120 130 140
Среднее значение	187	190	197	207	130
Изменение нагрузки, +/-,%	-	+1,6	+5,3	+10,7	-30,5

2	203	200 200 190	220 230 210	200 220 220	150 150 140
Среднее значение	203	197	220	213	147
Изменение нагрузки, +/-,%	-	-3,0	+8,3	+4,9	-27,6
3	170 160 150	100 100 130	100 100 100	120 120 100	110 120 100
Среднее значение	160	110	100	113	110
Изменение Нагрузки, +/-,%	-	-31,3	-37,5	-29,4	-31,25

Через 10 месяцев испытания образцов БПА составов №1-№3 в среде бетона отмечена низкая стойкость БПА. Снижение разрушающей нагрузки при изгибе составило около 30% по сравнению с контрольными образцами.

3. Исследование влияния температурных воздействий на стойкость стержневой базальтопластиковой арматуры

3.1. Влияние тепловлажностной обработки на коррозионную стойкость базальтопластиковой арматуры

Оценка влияния тепловлажностной обработки бетона на изменение прочности базальтопластиковой арматуры выполнена на призмах размерами 7х7х14 см.

Часть призм была подвергнута тепловлажностной обработке по режиму (2+6)ч при температуре изотермической выдержки 80 С, часть призм твердела в камере нормального хранения (КНХ) при температуре 20+-°С и относительной влажности 90%. По истечении 28 суток призмы были расколоты, БПА извлечена и определена разрушающая нагрузка при изгибе по ГОСТ 14019. Результаты испытаний приведены в таблице 18.

Таблица 18

Результаты определения разрушающей нагрузки при изгибе базальтопластиковых образцов после ТВО и КНХ

№№ составов	Исходная разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Разрушающая нагрузка при изгибе после ТВО, кгс	Разрушающая нагрузка при изгибе после КНХ, кгс	Изменение разрушающей нагрузки после ТВО,
				после КНХ +-, %
1	187	200	180	+7,0/-3,7
		180	190	-3,7/+1,6
		210	200	+12,3/+7,0
Среднее значение		197	190	+4,1/+1,6
2	203	220	200	+8,4/-1,5
		220	200	+8,4/-1,5
		210	190	+3,4/-6,4
Среднее значение		217	197	+6,7/-3,1
3	160	100	110	-37,5/-31,2
		100	100	-37,5/-37,5
		100	130	-37,5/48,7
Среднее значение		100	113	-37,57-29,1

Испытания показали, что тепловлажностная обработка бетона практически не влияет на прочность представленных образцов базальтопластиковой арматуры составов №1 и №2 и сильно понижает прочность БПА состава №3.

3.2. Влияние воздействия отрицательных температур на коррозионную стойкость

По истечении 28 суток твердения в камере нормального хранения (КНХ) при температуре 20± С и относительной влажности 90% бетонные призмы с базальтопластиковыми стержнями были поставлены на испытание по 3-ему ускоренному методу ГОСТ 10060 "Бетоны. Методы определения морозостойкости". Призмы подвергли трём циклам замораживания-оттаивания (ЦЗО) в 5%-ном растворе хлорида натрия при температуре замерзания -55 С. Затем призмы были расколоты, БПА извлечена и определена разрушающая нагрузка при изгибе.

Результаты испытаний приведены в таблице 19.

Таблица 19

Результаты определения разрушающей нагрузки при изгибе
базальтопластиковых образцов

№№ составов	Исходная разрушающая нагрузка при изгибе, кгс	Разрушающая нагрузка при изгибе после 3 ЦЗО, кгс	Изменение разрушающей нагрузки после 3 ЦЗО, +%
1	187	200	+7,0
		200	+7,0
		200	+7,0
Среднее значение		200	+7,0
2	203	210	+3,4
		200	-1,5
		200	-1,5
Среднее значение		203	0
3	160	200	+25,0
		180	+12,5
		180	+12,5
Среднее значение			+ 167

Испытаниями показано, что циклическое замораживание и оттаивание мало влияет на прочность представленных образцов базальтопластиковой арматуры. Однако увеличение прочности БПА состава №3 после № ЦЗО свидетельствует о взаимодействии БПА со средой, т.е. о нестабильности материала. Существенное увеличение прочности может в дальнейшем смениться спадом прочности.

4. Исследование влияния уровня напряжения на склонность к хрупкому коррозионному разрушению БПА

В соответствии с календарным планом в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций ГУП НИИЖБ были проведены исследования влияния уровня напряжения на склонность к хрупкому коррозионному растрескиванию БПА 4-х модификаций базальтопластиковой арматуры в исходном состоянии, а также выполнена оценка влияния тепловлажностной обработки бетона и знакопеременных температур на склонность к коррозионному разрушению базальтопластиковой арматуры, помещенной в бетон.

Составы и характеристики БПА следующие:

состав №1 - базальторовинг + эпоксидная смола; метод изготовления - пултрузия; диаметр арматуры 5,5 - 5,6 мм; скорость протяжки 70 см в 1 минуту; временное сопротивление БПА при растяжении $\sigma_b = 1000$ МПа;

состав №2 - базальторовинг + эпоксидная смола; метод изготовления - пултрузия с вакуумированием; диаметр арматуры 5,75 - 5,8 мм; временное сопротивление БПА при растяжении $\sigma_b = 1200$ МПа;

состав №3 - базальторовинг + эпоксидная смола; временное сопротивление БПА при растяжении $\sigma_b = 1260$ МПа;

состав №4 - базальторовинг + эпоксидная смола; временное сопротивление БПА при растяжении $\sigma_b = 1162$ МПа.

Представленная заказчиком базальтопластиковая арматура была распилена на образцы длиной 25 см, торцы образцов были изолированы эпоксидной смолой.

Воздействию бетона БПА подвергли по методике НИИЖБ. Образцы БПА испытывали в мелкозернистом бетоне. Из мелкозернистого бетона состава Ц:П = 1:4 с водоцементным отношением 0,6 изготавливали призмы размером 10X10X30 см. При формировании в середину призмы закладывали арматуру БПА «Гален». Часть призм подвергали тепловлажностной обработке (ТВО) по режиму (3+6)ч при температуре изотермической выдержки 80 С, часть образцов после ТВО испытывали на морозостойкость по третьему ускоренному методу ГОСТ 10060, при температуре -50 С (три цикла замораживания и оттаивания ЦЗО); другая часть образцов после ТВО хранилась в камере нормального твердения в течение недели (температура 20 С, относительная влажность 90%).

По истечении недели образцы раскалывали, извлекали базальтопластиковую арматуру и испытывали на стойкость к хрупкому коррозионному растрескиванию.

Коррозионные испытания БПА проводили по методике НИИЖБ при постоянном напряжении, создаваемом изгибом на рычажной установке. В качестве коррозионной среды был принят 1N раствор №ОН при температуре 20 С, используемый для определения

стойкости неметаллической арматуры в щелочной среде. Арматуру исследовали при различных уровнях напряжения от $0,2 \sigma_{\text{в}}$ до $0,7 \sigma_{\text{в}}$. За критерий стойкости было принято время до разрушения БПА. Время обрыва образца фиксировалось прибором-самописцем автоматически. Испытания проводили на арматуре исходной и подверженной дополнительному воздействию ТВО и ТВО + ЦЗО. Результаты испытаний приведены в таблице №20 и на рисунке.

Таблица №20

Склонность к хрупкому коррозионному разрушению арматуры БПА
«Гален» (Чебоксары)

№№ п/п	Серия	Обработка	Диам., мм	σ_a кг/мм ²	σ_a/σ_u %	Время до обрыва	
						Сут-час	Час-мин
1	1		5,5	64,3	64,3	14-3	336
2	2		5,75	56,3	46,9	10-21	261
3	1		5,5	46,4	46,4	19-20	476
4	2		5,75	37,8	31,5	14-2	338
5	1		5,5	54,8	54,8	16-0,5	384-30
6	2		5,75	49,8	41,5	10-22	262
7	1		5,5	28,3	28,3	33-2,5	794-30
8	2		5,75	23,9	19,9	26-17	641
9	2		5,75	32,4	27	19-8	464
10	1		5,5	38,4	38,4	20-14	494
11	1	ТВО	5,5	66,0	66,0	11-21	855
12	2	ТВО	5,75	42,2	35,2	34-13	829
13	1	ТВО+ЦЗО	5,5	63,6	63,6	25-15	285
14	2	ТВО+ЦЗО	5,75	44,6	37,2	27-3	651
15	1		5,5	63,0	63,0	26-5	629
16	2		5,75	42,4	35,3	30-13	973
17	3		5,5	45,6	45,6	27-14	662
18	3		5,5	67,6	67,6	8-10	202
19	1	ТВО+ЦЗО	5,5	63,0	63,0	8-4	196
20	2	ТВО+ЦЗО	5,75	60,6	50,5	7-10	178
21	3	ТВО+ЦЗО	5,5	64,3	64,3	30-3	723
22	1	ТВО	5,5	61,8	61,8	7-8	176
23	2	ТВО	5,75	64,2	53,5	15-20	380
24	3	ТВО	5,5	64,3	64,3	8-22	214

25	3	ТВО+ЦЗО	5,5	67,4	67,4	9-21	237
26	3	ТВО	5,75	70,0	70,0	15-7	367
27	3		5,5	60,6	60,6	27-1	649
28	3		5,5	70	70	13-2	314
29	3		5,5	78	78	19-13	469
30	3		5,5	76,4	76,4	37-8	896
31	4		5,5	64,3	64,3	82 сут, на 10.09.2003 обрыва нет	
32	4		5,5	71,4	71,4	82 сут, на 10.09.2003 обрыва нет	
33	4		5,5	76,4	76,4	82 сут, на 10.09.2003 обрыва нет	
34	4		5,5	75,3	75,3	>1	18
35	4		5,5	65	65	57 сут, на 10.09.2003 обрыва нет	
36	4		5,5	69	69	57 сут, на 10.09.2003 обрыва нет	
37	4		5,5	70,6	70,6	57 сут, на 10.09.2003 обрыва нет	

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что разные серии БПА «Гален» в исходном состоянии показали различную склонность к коррозионному растрескиванию в 1Н растворе NaOH.

В порядке увеличения стойкости эти серии можно расположить в следующий ряд: 2-1-3-4. Серия 4 показала уникальные результаты: при высоком уровне напряжения (0,64-0,76) $a_{в}$, где $a_{в}$ условно было принято равным 1000 МПа. За период 82 суток обрывов образцов не наблюдалось. При таком количестве образцов данными образца БПА №39 можно пренебречь.

Выводы по этапу:

1. Испытанные серии БПА «Гален» на основе базальтового волокна, показали различную коррозионную стойкость под нагружением в одноосновном растворе NaOH. Представленные серии можно поставить в ряд 2-1-3-4.

2. Тепло-влажностная обработка и испытания на морозостойкость бетонных образцов, армированных БПА, практически не повлияли на коррозионную стойкость арматуры.

3. Особо следует отметить четвертую партию БПА «Гален». При напряжении (0,64-0,76) $a_{в}$, образцы не разрушились в течение 82 суток. Это свидетельствует о высокой стойкости против коррозионного растрескивания в щелочной среде данной партии арматуры.

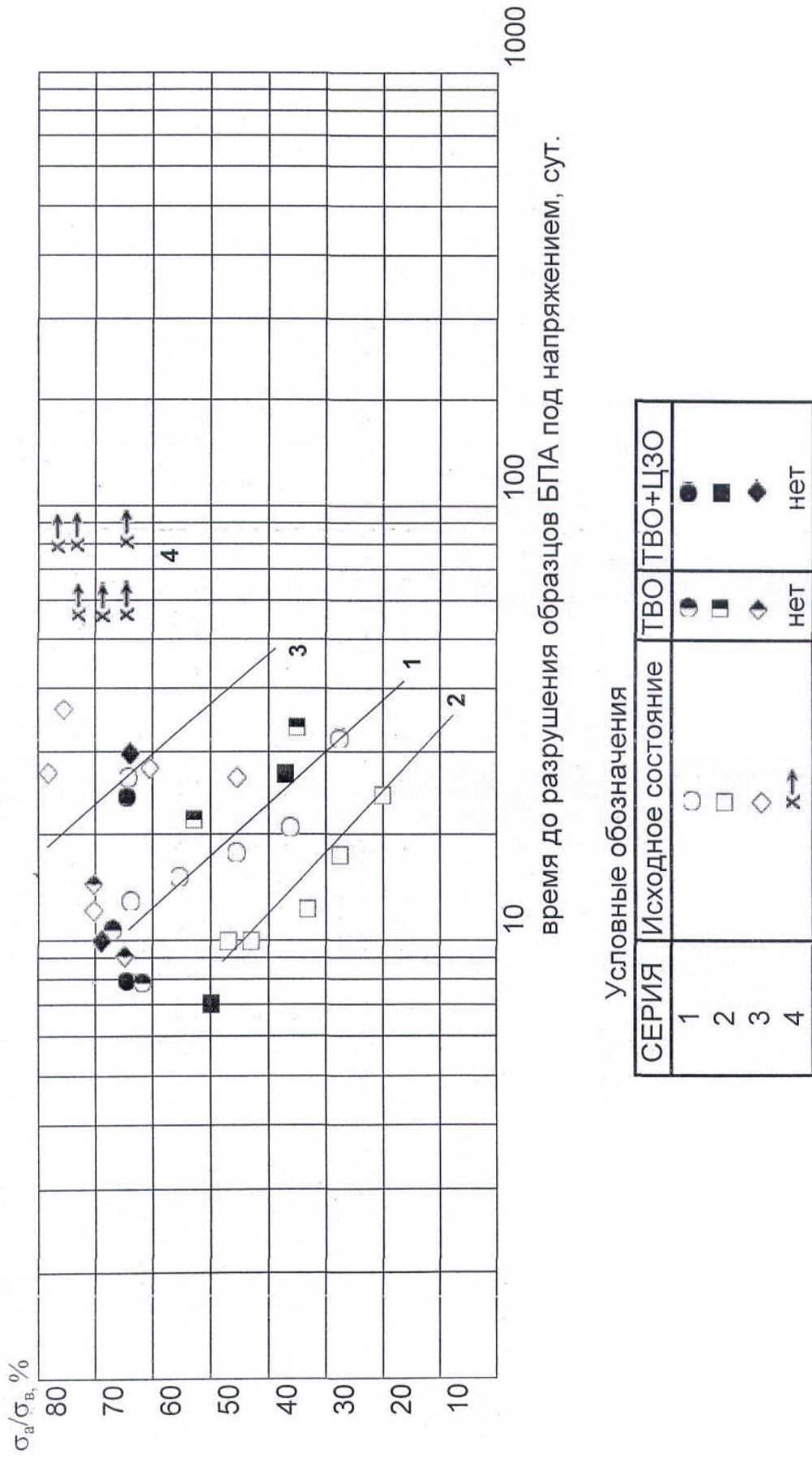


Рис. Результаты испытаний на склонность к коррозионному растрескиванию различных серий базальтопластиковой арматуры

Общие выводы

1. Выполнены коррозионные испытания представленных образцов базальтопластиковой арматуры 4-х модификаций. Исследования БПА составов №1-№3 выполнены в полном объеме, состав №4 испытан по ускоренному методу в 1 Н растворе гидроксида натрия в течение 1 месяца.

2. Установлено, что наибольшей коррозионной стойкостью в 1 Н растворе гидроксида натрия при температурах 20, 55 и 80°C обладает состав №4. Составы БПА №1-№4 в порядке увеличения стойкости в 1 Н растворе гидроксида натрия в отсутствие нагружения можно расположить в следующий ряд: 1-2-3-4.

3. Испытанные модификации БПА показали различную коррозионную стойкость под нагрузкой в 1 Н растворе гидроксида натрия. Представленные составы в порядке увеличения стойкости под напряжением можно расположить в следующий ряд: 2-1-3-4.

4. Базальтопластиковая арматура состава №4 - наиболее коррозионностойкая арматура из представленных модификаций. При напряжении $(0,64-0,76) < \sigma_{\text{в}}$, образцы не разрушились в течение 82 суток на 10.09.03г., что свидетельствует о высокой стойкости против коррозионного растрескивания в щелочной среде.

5. Целесообразно продолжить испытания БПА состава №4 в более длительные сроки, в различных коррозионных средах, в т.ч. в условиях нагружения с целью определения рациональной области ее применения.

6. С учётом повышенной коррозионной стойкости, считаем возможным рекомендовать базальтопластиковую арматуру состава № 4 для изготовления гибких связей.

7. Вероятно, базальтопластиковая арматура состава №4 может найти более широкое применение в строительстве. В частности, как замена металлической арматуры в конструкциях мостов, тоннельных и портовых сооружений, где требуется высокая коррозионная стойкость арматуры. В этом направлении, а также в направлении расчёта долговечности совместной работы связи в конструкции, исследования целесообразно продолжить.