

УДК 666 9 : 691

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ БЕТОННОЙ СМЕСИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ

**Т.В. Сафонова<sup>1</sup>, А.А. Гупалов<sup>2</sup>, Д.Ф. Шабанов<sup>3</sup>**

Филиал Иркутского государственного технического университета,  
665470, г. Усолье-Сибирское, ул. Менделеева, 65.

Приведены результаты разработки составов бетонной смеси для производства тротуарной плитки. Исследовано влияние различного количества основных компонентов бетона, т. е. щебня и песка. Также приведены результаты исследования влияния добавки гипса на прочность, водопоглощение и морозостойкость материала.

Ил. 9. Табл. 12. Библиогр. 2 назв.

*Ключевые слова: песок; щебень; гипс; бетонная смесь.*

## DEVELOPMENT OF CONCRETE MIX FORMULATIONS AND TECHNOLOGY OF PAVING SLABS PRODUCTION

**T. Safonova, A. Gupalov, D. Shabanov**

Branch of Irkutsk State Technical University,  
65 Mendeleev St., Usolye-Sibirskoye, 665470

The paper presents the results of development of concrete mix for production of paving slabs. The authors investigate the effect of different amounts of the major concrete components, i.e. gravel and sand. The paper also presents the results of studies of the effect of plaster additives for strength, water absorption and frost resistance of the material.

Illustrations: 9. Tables: 12. References: 2.

*Keywords: sand; gravel; gypsum; concrete mix.*

Проектирование состава бетона для тротуарной плитки имеет цель установить такой расход материалов бетонной смеси, при котором наиболее экономично обеспечивается получение удобоукладываемой бетонной смеси и заданной прочности бетона, а в ряде случаев необходимой морозостойкости, водонепроницаемости и специальных свойств бетона.

При разработке компонентного состава бетона для производства тротуарной плитки сначала подбиралось оптимальное содержание песка и щебня. После того, как был получен состав с наилучшими показателями по прочности и водопоглощению, в состав вводилась добавка гипса в различных количествах.

Для испытаний готовились образцы в количестве 5 штук каждого состава. Для получения данных для сравнения, первые тестовые образцы были сделаны из одного цемента марки М-400. Далее в состав вводился песок в количестве от 20 до 60 %. Соответственно, изменялось количество цемента. Составы масс приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

**Компонентный состав бетонной смеси с различным содержанием песка**

Номер состава	Компоненты, %			
	Цемент	Песок	Щебень	в/ц
1	20	80	0	0,4
2	40	60	0	
3	60	40	0	
4	80	20	0	
5	100	0	0	

<sup>1</sup> Сафонова Татьяна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая технология неорганических веществ и материалов», тел.: 89645473157, e-mail: [Tanya1082@mail.ru](mailto:Tanya1082@mail.ru)  
SafonovaTatiana, Candidate of Engineering Science, Associate Professor of Chemical Technology of Inorganic Substances and Materials Department, tel.: 89645473157, e-mail: Tanya1082@mail.ru

<sup>2</sup> Гупалов Алексей Александрович, студент группы УХТС-09, тел.: 89025690780, e-mail: [ipgupalov@mail.ru](mailto:ipgupalov@mail.ru)  
Gupalov Aleksey, a student of group UHTS-09, tel.: 89025690780, e-mail: ipgupalov@mail.ru

<sup>3</sup> Шабанов Даянат Фирузоглы, студент группы УХТС-09, тел.: 89526160788, e-mail: [dayanat93@mail.ru](mailto:dayanat93@mail.ru)  
Shabanov Dayanat, a student of group UHTS-09, tel.: 89526160788, e-mail: dayanat93@mail.ru

Готовые образцы проверялись на прочность при сжатии на 1, 7 и 28 сутки. Результаты исследований представлены в табл. 2. График зависимости прочности бетона от содержания песка представлен на рис.1.

Таблица 2

Прочность при сжатии образцов бетона разного возраста

Состав №	Прочность на 2 сут. (МПа)	Прочность на 7 сут. (МПа)	Прочность на 28 сут. (МПа)
1	3,12	4,99	6,26
2	5,12	10,27	11,9
3	7,05	18,15	20,8
4	6,84	20,35	23,25
5	7,7	21,2	32,4

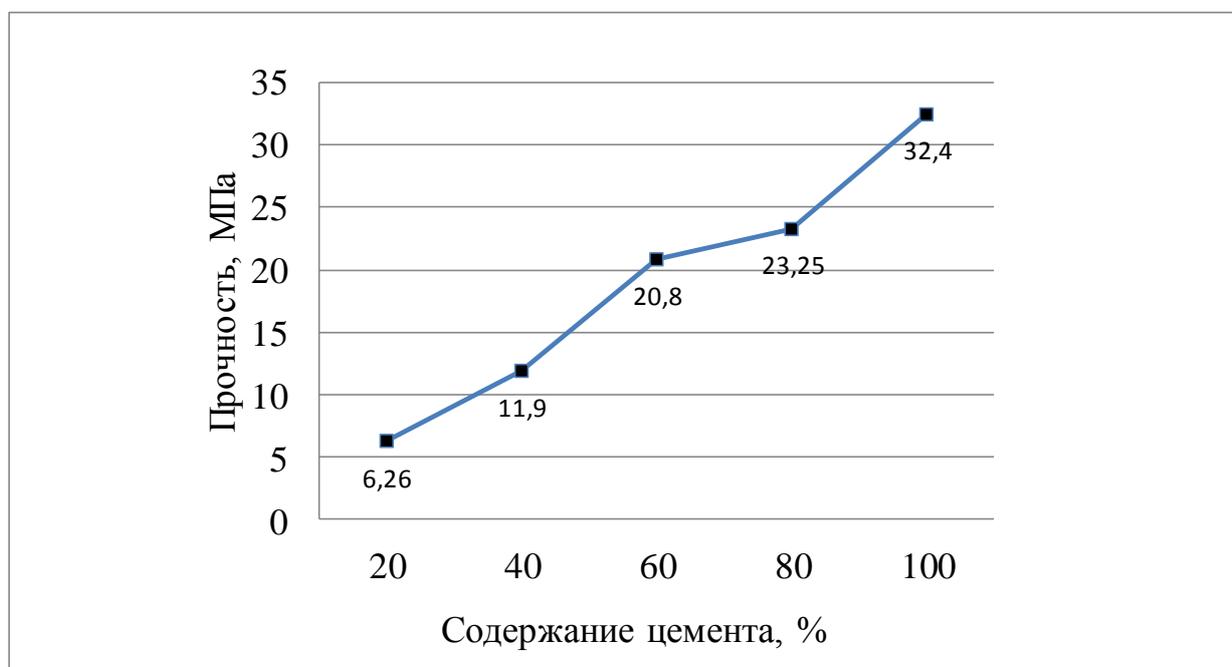
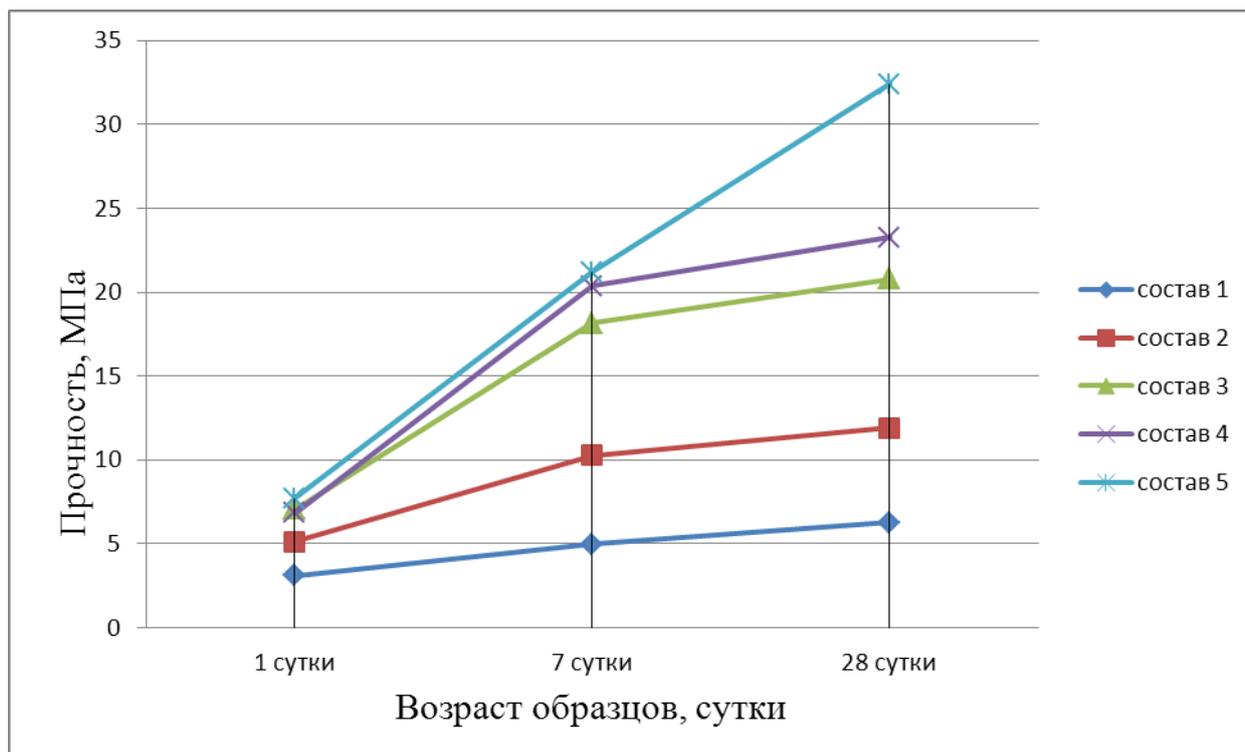


Рис. 1. Изменение прочности на сжатие в зависимости от содержания песка в составе

Результаты исследований показали, что прочность на сжатие уменьшается при введении песка в цемент, но наибольшей в составе с песком она была у состава № 3, содержащего 40 % песка. Изменение прочности на сжатие в зависимости от возраста образцов представлено на рис. 2.

Водопоглощение образцов составило 10 % у образцов состава №3 (табл. 3, рис. 3), что меньше, чем у образцов других составов.

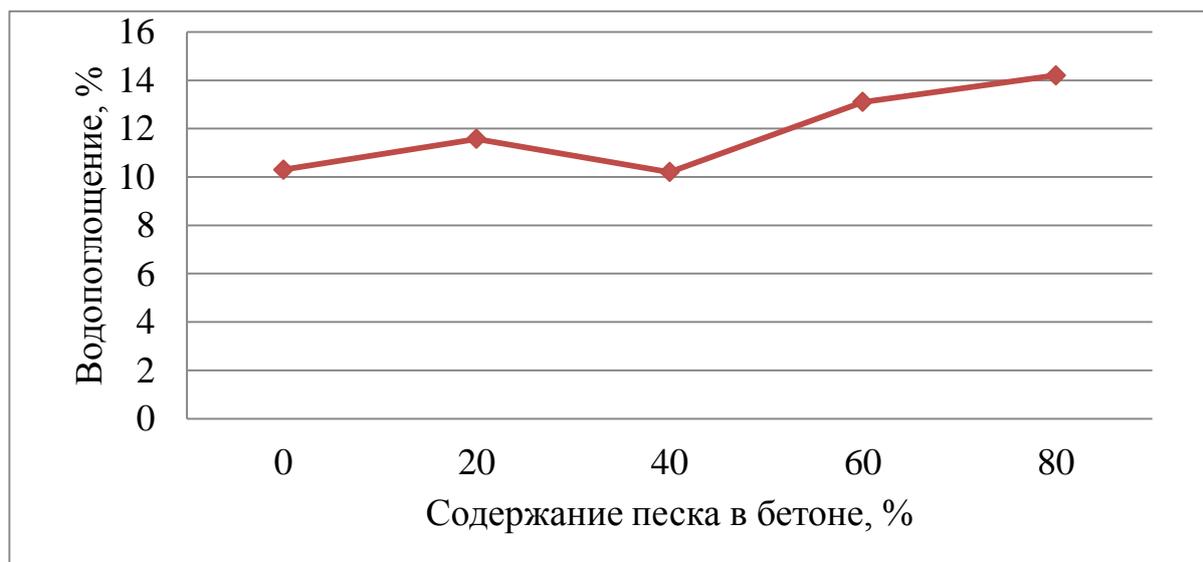


**Рис. 2. Изменение прочности образцов с различным содержанием песка в зависимости от их возраста**

**Таблица 3**

**Водопоглощение образцов, содержащих различное количество песка**

Образец состава	До кипячения	После кипячения	W	ср
1'	14,45	16,53	14,39446367	14,26901577
1''	14,07	16,06	14,14356787	
2'	16,1	18,11	12,48447205	13,14303701
2''	16,23	18,47	13,80160197	
3'	16,26	17,85	9,778597786	10,20912157
3''	15,79	17,47	10,63964535	
4'	16,67	18,55	11,27774445	11,57266361
4''	16,01	17,91	11,86758276	
5	16,45	17,53	6,565349544	10,35445871



**Рис. 3. Изменение водопоглощения в зависимости от содержания песка в бетоне**

По полученным данным видно, что образцы на основе состава № 3, содержащего 40 % песка, имеют наименьшее водопоглощение (10 %) по сравнению с другими. Таким образом, оптимальное содержание песка в составе бетона соответствует 40 %, именно этот состав показал лучшие результаты по прочности и водопоглощению.

#### **Исследование влияния содержания щебня в составе бетонной смеси на свойства готового материала**

Выбрав лучший состав с цементом и песком, приняв его за 100 %, вводим щебень как наполнитель сверх 100 %. Выбираем состав, где ввод щебня за счет цемента не будет ухудшать физические характеристики материала.

Компонентный состав материала представлен в табл. 4.

**Таблица 4**

#### **Компонентный состав бетонной смеси с щебнем и песком**

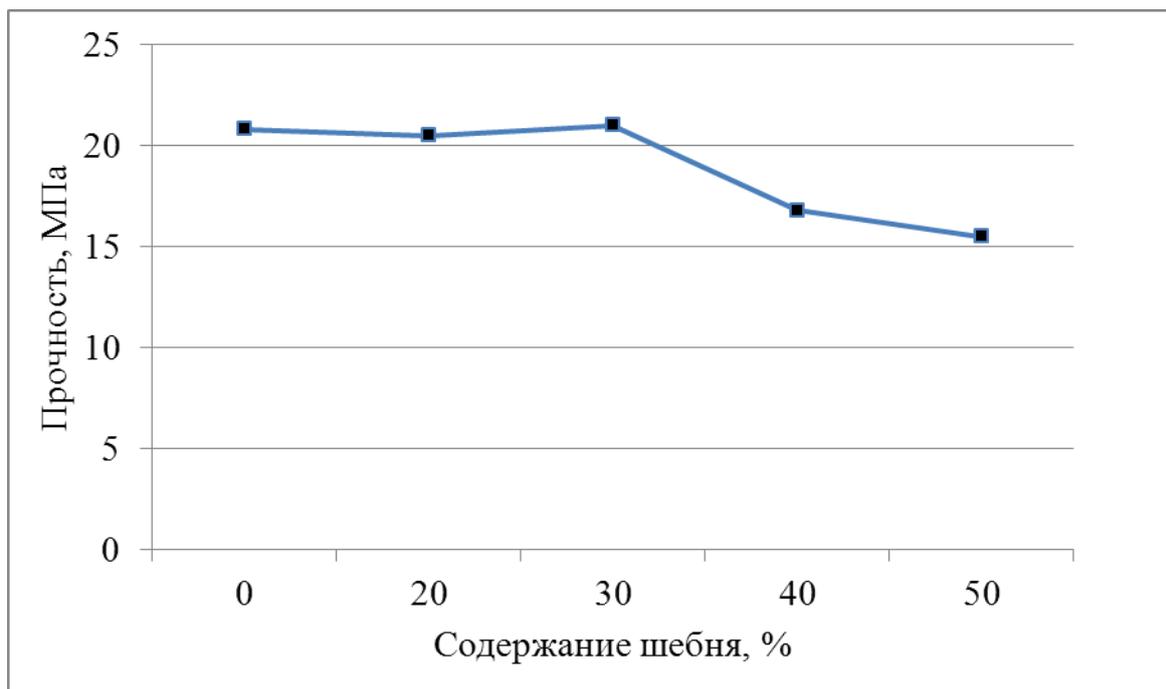
Номер состава	Компоненты, %			
	Цемент	Песок	Щебень	в/ц
0	60	40	0	0,4
1	60	40	20	
2	60	40	30	
3	60	40	40	
4	60	40	50	

**Таблица 5**

#### **Прочность на сжатие образцов с различным содержанием щебня**

Номер состава	Прочность МПа 2д	Прочность МПа 7д	Прочность МПа 28д
0	7	18	20,8
1	7,1	19	21,5
2	8	20,3	22
3	6,4	17,5	19,4
4	7,8	15,8	17,5

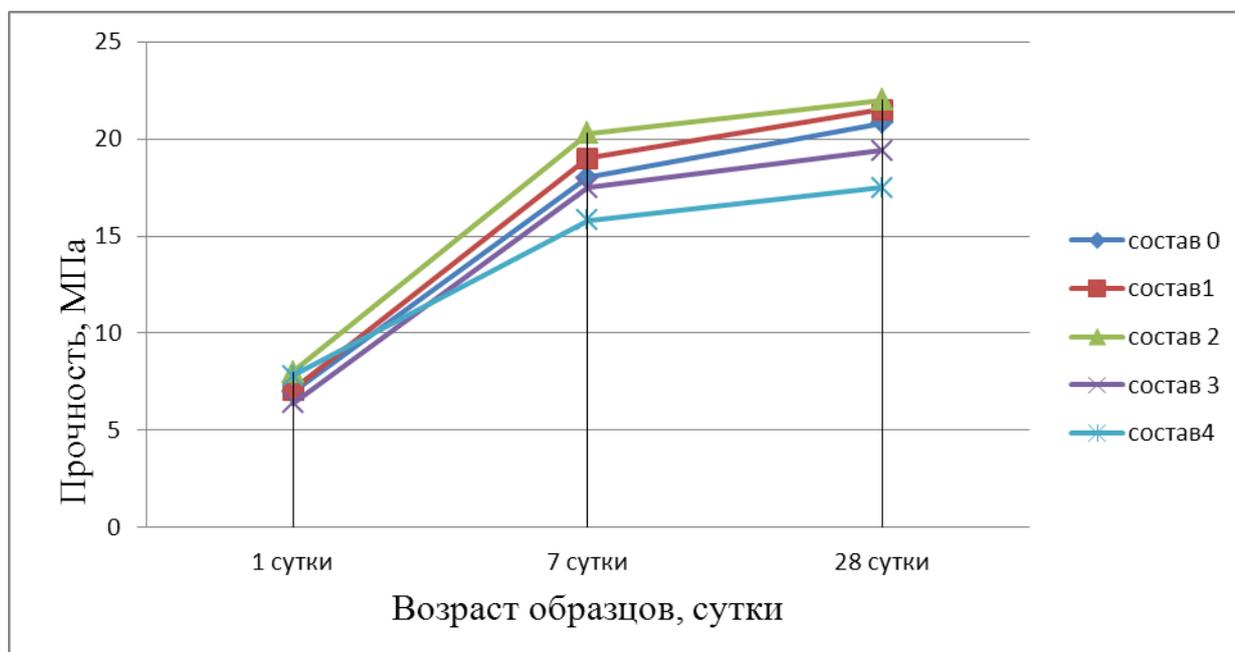
График зависимости прочности образцов на сжатие от содержания щебня в составе представлен на рис. 4.



**Рис. 4. Изменение прочности на сжатие в зависимости от содержания щебня в составе**

Результаты исследований показали, что прочность на сжатие была наибольшей у состава, содержащего 30 % щебня (состав № 2, табл. 6, рис. 4).

Водопоглощение образцов составило 11 %. Изменение прочности при сжатии образцов с различным содержанием щебня в зависимости от их возраста представлено на рис. 5.



**Рис. 5. Изменение прочности образцов с различным содержанием щебня в зависимости от их возраста**

Таблица 6

## Водопоглощение образцов, содержащих различное количество щебня

Образец	До кипячения	После кипячения	W	ср
0	14,95	17,35	15,38461538	15,38461538
1'	15,21	17,68	16,23931624	15,70148845
1''	14,97	17,24	15,16366065	
2'	14,85	16,88	13,67003367	14,20767099
2''	14,92	17,12	14,74530831	
3'	14,88	17,2	15,59139785	14,38935186
3''	14,81	17	14,78730587	
4'	16,07	18,02	12,13441195	15,26875636
4''	15,48	17,4	12,40310078	

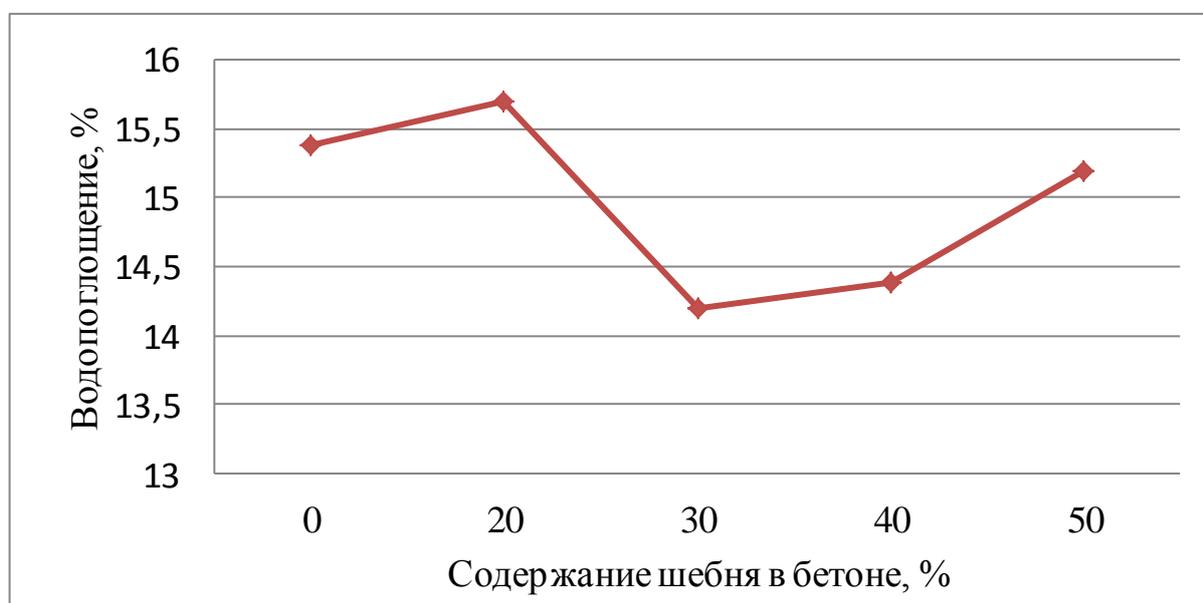


Рис. 6. Изменение водопоглощения в зависимости от содержания щебня в цементе

Морозостойкость образца приведена в табл. 7.

Таблица 7

## Морозостойкость образцов

Состав строительного раствора	Предел прочности на сжатие образцов в возрасте 28 сут.	Предел прочности на сжатие, МПа, при испытании после попеременного замораживания и оттаивания числом	
		20 циклов	30 циклов
40 % песка, 60 % цемента, 30% щебня, в/ц 0,4	20,8	19,4	18,43

По полученным данным выбираем состав № 3, так как он дал наилучшие результаты по водопоглощению и прочности при сжатии по сравнению с другими составами. По ГОСТ 17608-91 [1] допускается снижение прочности не более чем на 5 %, что и наблюдается в наших исследованиях.

Так как добавки увеличивают морозостойкость, прочность на сжатие и сроки схватывания, в качестве упрочняющей и модифицирующей добавки выбрали гипс.

Подобрав наилучший состав с цементом щебнем и песком, и приняв его за 100 %, сверх этого вводим добавку гипса в количестве от 15 до 50 %. Исследуем характеристики полученного материала, содержащего различное количество добавки.

Компонентный состав материала представлен в табл. 8.

Таблица 8

**Компонентный состав бетонной смеси**

Номер состава	Компоненты, %				в/ц
	Цемент	Песок	Щебень	Гипс	
0	60	40	30	0	0,4
1	60	40	30	5	
2	60	40	30	15	
3	60	40	30	25	
4	60	40	30	35	
5	60	40	30	45	
6	60	40	30	55	

Таблица 9

**Изменение прочности на сжатие в зависимости от содержания гипса в составе**

Номер состава	Прочность, МПа 1 д	Прочность, Мпа, 7 д	Прочность, Мпа, 28 д
0	5,7	14,4	20,8
1	4.9	14,18	22,505
2	8,65	14,505	30,3
3	6,58	17,13	30,365
4	4,25	15,515	27,21
5	8,385	13,53	22,45
6	15,48	12,745	19,8

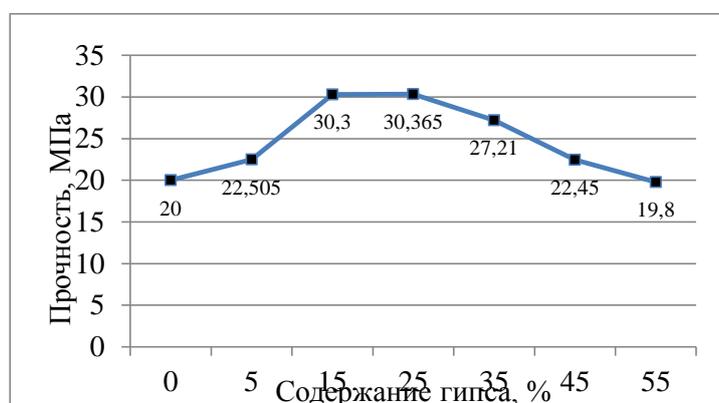
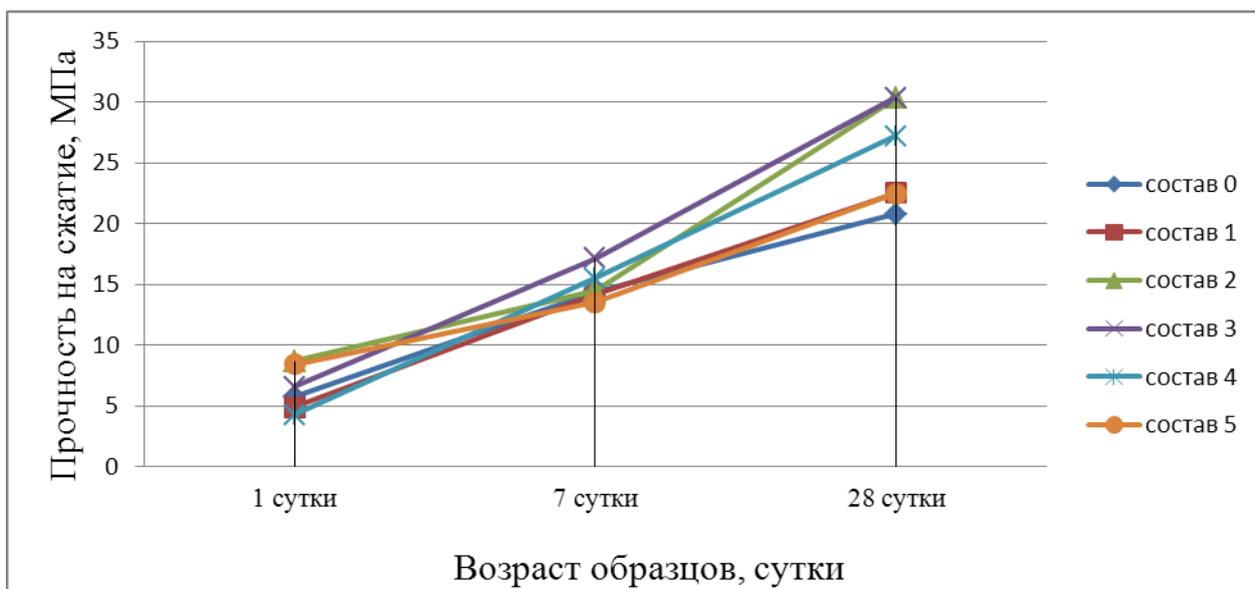


Рис. 7. Изменение прочности на сжатие в зависимости от содержания гипса в составах

Изменение прочности в зависимости от возраста приведено на рис. 8.



**Рис. 8. Изменение прочности образцов с различным содержанием щебня в зависимости от их возраста**

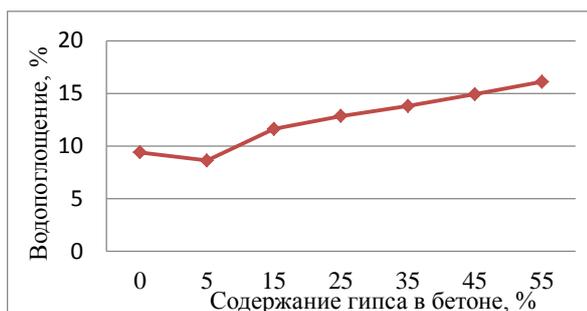
Результаты исследований показали, что прочность на сжатие увеличивается с повышением содержания гипса в составах от 15 до 25 %. Максимальная прочность была у образцов, содержащих 15–25 % гипса (табл. 9, рис. 7).

Изменение водопоглощения образцов в зависимости от содержания гипса представлено в табл. 10. Водопоглощение образцов, содержащих 15–25 % гипса, составило 10–12 %.

**Таблица 10**

**Водопоглощение образцов, содержащих различное количество гипса**

Состав	До кипячения	После кипячения	W	ср
0	14,25	16,93	18,80701754	9,403508772
1'	16,48	18,33	11,22572816	8,631156761
1''	16,40	17,39	6,036585366	
2'	15,30	16,95	10,78431373	11,62187782
2''	15,41	17,33	12,45944192	
3'	15,28	17,18	12,43455497	12,85674336
3''	13,48	15,27	13,27893175	
4'	14,61	16,14	10,47227926	13,80957603
4''	14,23	16,67	17,1468728	
5'	15,21	17,54	15,31886917	14,92352148
5''	14,73	16,87	14,52817379	
6'	13,31	15,36	15,40195342	16,1108707
6''	14,15	16,53	16,81978799	



**Рис. 9. Изменение водопоглощения в зависимости от содержания гипса в цементе**

Морозостойкость бетона представлена в табл. 11.

**Таблица 11**

**Морозостойкость образцов**

Состав строительного раствора	Предел прочности на сжатие образцов в возрасте 28 сут.	Предел прочности на сжатие, МПа, при испытании после попеременного замораживания и оттаивания числом	
		20 циклов	30 циклов
40 % песка, 60 % цемента, 30 % щебня, в/ц 0,4	20,8	19,4	18,43
40 % песка, 60 % цемента, 30 % щебня, в/ц 0,4 гипс 25 %	30,365	28,815	26,375

По полученным данным выбираем состав № 3–4, содержащий 15–25 % гипса сверх массы, так как он показал себя с наилучшими результатами по водопоглощению и прочности при сжатии по сравнению с другими составами. Образцы данного состава имеют водопоглощение 11 % и прочность при сжатии 30,3 МПа.

Влияние гипса на сроки схватывания приведены в табл. 12.

Известно, что введение гипса сокращает сроки схватывания бетонной смеси.

**Таблица 12**

**Влияние гипса на сроки схватывания**

Количество добавки, %	Начало схватывания, ч-мин	Конец схватывания, ч-мин
0	2–20	3–43
5	2–05	3–27
15	1–38	2–51
25	1–03	2–14
35	0–36	1–42
45	0–21	1–17
55	0–12	0–43

Измерив сроки схватывания бетонной смеси с различным содержанием гипса, делаем вывод, что введение 15 % гипса сверх 100 % бетонной смеси сокращает начало и конец ее схватывания примерно на 50 секунд.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Установлены оптимальные пропорции основных компонентов состава, количество песка – 40 %; цемента – 60 %; щебня – 30 % сверх массы.
2. Определено влияние добавки гипса на свойства раствора и готового материала. Оптимальное количество гипса в строительном растворе 15–25 %. При этом прочность увеличивается с 20,8 МПа до 30,365 МПа.
3. Сроки схватывания раствора с добавлением 15–25 % гипса уменьшаются примерно на 1 час.
4. Морозостойкость образцов с гипсом увеличивается.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 17608-91. Плиты бетонные тротуарные.
2. Тирских В.Л. Технология вяжущих материалов: метод. указания по выполнению лабораторного практикума: Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2009. – 38 с.