

УДК 625.731.71

## ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ БЕТОНА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

**Лупанов Андрей Павлович**, д-р техн. наук, проф.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, abz4@abz4.ru

**Филимонов Алексей Вадимович**, магистрант,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, alexfilimonov@icloud.com

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные виды отходов, образующихся при сносе строительных сооружений. Самыми распространенными являются отходы бетона и железобетона. В Московском регионе с 2018 года осуществляется реновация, в ходе которой, предполагаемый объем бетонного лома составит более 13 млн м<sup>3</sup>. Наиболее эффективным способом утилизации бетонных отходов является применение дробленого бетона в качестве крупного и мелкого заполнителя в жестких бетонных смесях при устройстве дорожных оснований.

Проведены исследования поверхности зерен песка по микрофотографиям. Определены свойства и особенности дробленого бетона. Подобраны составы жесткого укатываемого бетона с заменой природных заполнителей на песок и щебень из дробленого бетона. Проведены исследования свойств бетонов на заполнителях из дробленого бетона. Определена экономическая эффективность применения дробленого бетона в жестких бетонных смесях для строительства дорожных оснований.

**Ключевые слова:** строительство дорожных оснований; переработка отходов строительного производства; вторичное использование бетона; микрофотографии; свойства дробленого бетона; экономическая эффективность применения дробленого бетона.

## APPLICATION OF CONCRETE CRUSHING WASTE IN CONCRETE BASES OF AUTOMOBILE ROADS

**Lupanov Andrej P.**, D. Sc., professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, abz4@abz4.ru

**Filimonov Aleksey V.**, undergraduate,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, alexfilimonov@icloud.com

**Abstract.** In the article it is discussed the main types of waste generated during the demolition of buildings. The most common are waste concrete and reinforced concrete. Since 2018, renovation has been carried out in the Moscow region, during which the estimated volume of concrete scrap will be more than 13 million m<sup>3</sup>. The most effective way to utilize concrete waste is to use crushed concrete as coarse and fine aggregate in hard concrete mixtures when constructing road foundations.

The research of the sand grains surface has been conducted by micrographs. The properties and features of crushed concrete have been determined. Formulations of rigid rolled concrete with replacement of natural aggregates to sand and crushed concrete crushed

are selected. Conducted research on the properties of concrete on aggregates of crushed concrete. The economic efficiency of the use of crushed concrete in rigid concrete mixtures for the construction of road foundations has been determined.

**Key words:** construction of road base; building and industrial waste; recycling of construction wastes; recycling of concrete; micrographs; properties of crushed concrete; economic efficiency of crushed concrete application.

### Введение

С увеличением объемов жилищного строительства и реконструкцией существующих зданий, в городах увеличиваются объемы строительных отходов. Основные виды отходов: бетонные и ж/б изделия, кирпичный бой, древесина, металлолом и прочие отходы. К прочим отходам относятся: битумосодержащие материалы, стеклобой и замусоренный грунт.

Захоронение строительных отходов на полигонах и свалках оказывает негативное влияние на структуру и состояние почвы, а также может приводить к загрязнению прилегающей к свалке территории.

На рис. 1 приведены объемы перерабатываемых строительных отходов в разных странах [1].

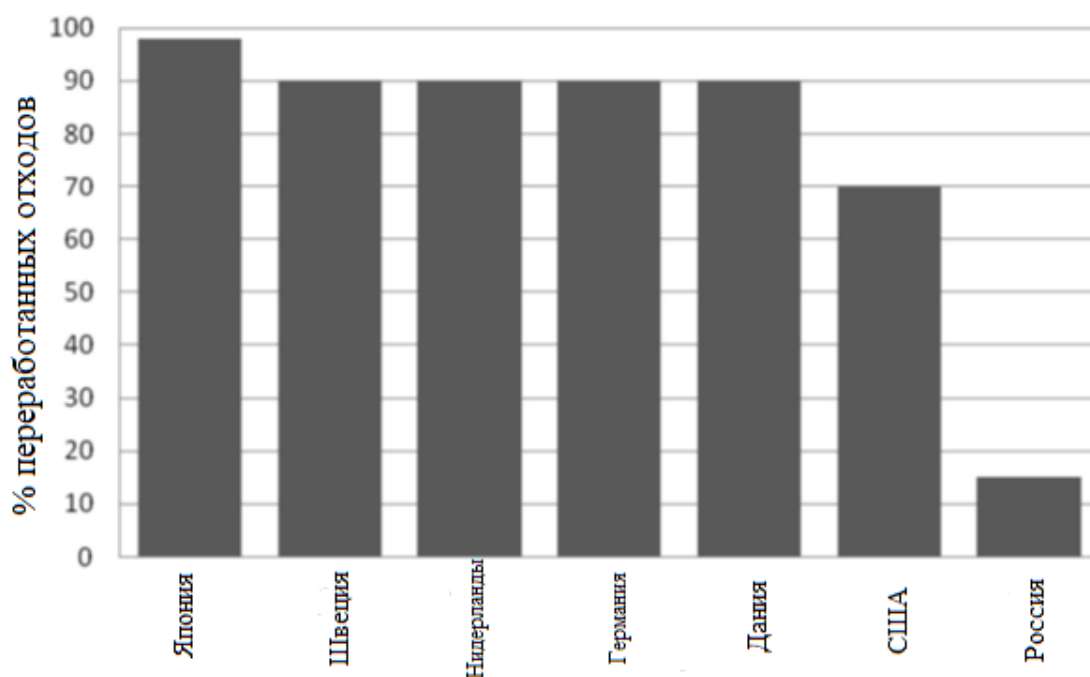


Рис. 1. Объем переработки строительных отходов в разных странах

Объемы переработки отходов в России составляют около 15%, а оставшиеся отходы размещаются на полигонах.

Наиболее распространенными отходами строительства (более 50%), является отходы бетона и железобетона [2, 3].

С 2018 г. в Московском регионе осуществляется реновация, которая предполагает снос ветхого жилья в количестве более 5 тыс. домов. При этом планируется получить около 13 млн м<sup>3</sup>, бетонного лома, пригодного для повторного использования. Наиболее эффективно бетонный лом можно использовать в качестве крупного и мелкого заполнителя в жестких бетонных смесях при устройстве дорожных оснований.

### **Основная часть**

Применением отходов дробления бетона в бетонных смесях занимались: Мирзалиев Р.Р., Курочка П.В., Фахратов М.А., Кужин М.Ф., Пуляев С.М., Балакшин А.С., Гусев Б.В., Загурский В.А. и др. Имеющийся опыт показывает, что для переработки бетона можно использовать такие же дробильные установки, которые используются для дробления горных пород. Однако установки первичного дробления бетона должны быть большего размера из-за пропуска рабочей арматуры и каркасных сеток.

При дроблении бетона его разрушение чаще всего происходит по цементно-песчаному камню. Полученный вторичный щебень обладает формой зерен близкой к кубовидной, однако поверхность камня имеет сложную форму, состоящую из выступов и впадин. На рис. 2 представлены микрофотографии зерен дробленого и природного песка. В отличие от природных материалов, дробленный бетон имеет более развитую, шероховатую поверхность.

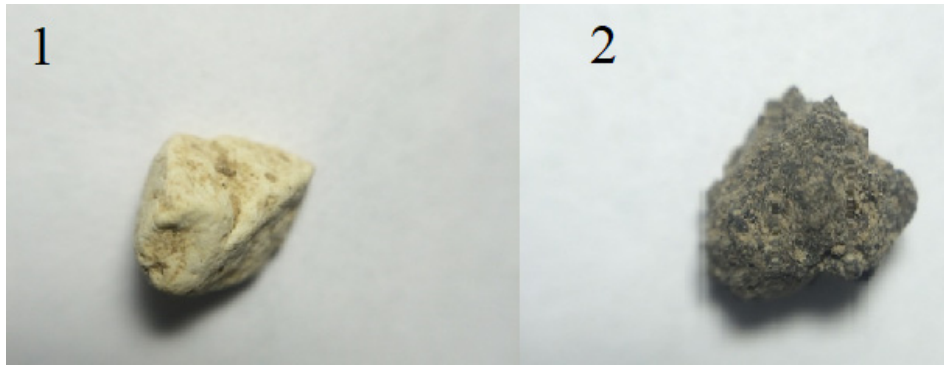


Рис. 2. Микрофотографии природного песка (1) и песка из дробленого бетона (2) (увеличение  $\times 30$ )

Наличие на зернах дробленого бетона остатков цементного камня, приводит к снижению технических характеристик бетонов за счет понижения качества контактной зоны.

Для определения основных характеристик отходов дробления бетона были проведены лабораторные испытания. Данные по гранулометрическому составу природного щебня и щебня из дробленого приведены на рис. 3.

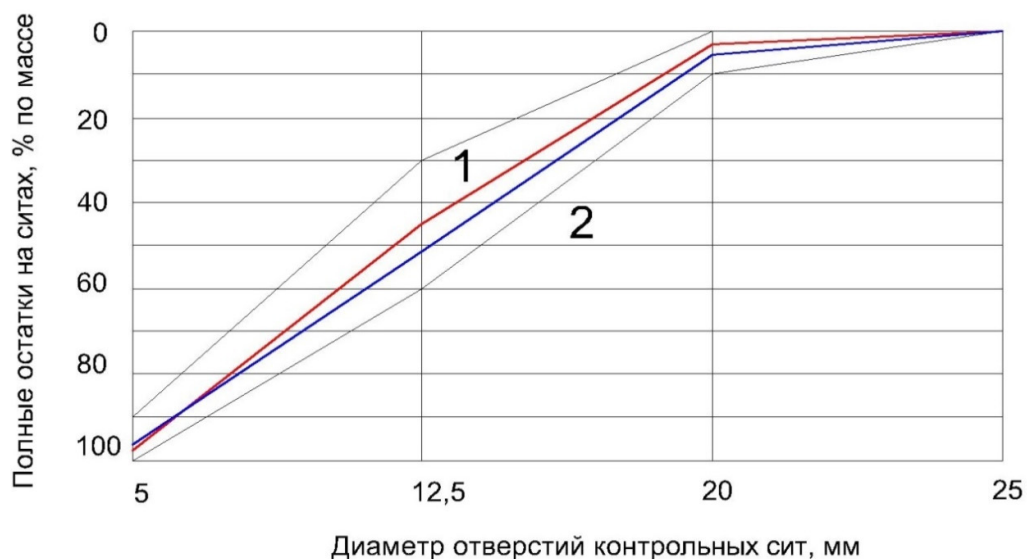


Рис. 3. Гранулометрические составы природного щебня (1) и щебня из дробленого бетона (2)

Основные характеристики щебня из дробленого бетона приведены в табл. 1.

Характеристики щебня из дробленого бетона

Наименования показателей		Требования ГОСТ 32495-2013		Значения показателей
Полные остатки на контрольных ситах, %	$d$	90	100	97,84
	$0,5(d + D)$	30	60	51,32
	$D$	0	10	5,16
	$1,25D$	0	0,5	0,00
Группа щебня		–		II
Потеря в массе при испытании в сухом (водонасыщенном) состоянии, %		15–19 (15–20)		16,5
Марка по дробимости, в сухом состоянии		600		600
Содержание глины в комках, %		не более 0,25%		0,0
Насыпная плотность, т/м <sup>3</sup>		не норм.		1,24

Полученные результаты показывают что, испытываемый щебень из дробленого бетона может использоваться в качестве крупного заполнителя для жестких укатываемых смесей.

Результаты определения гранулометрических составов природного песка и песка из дробленого бетона представлены на рис. 4.

Гранулометрический состав песка из дробленого бетона имеет больше полных остатков на ситах с размером отверстий от 0,65 до 5, поэтому при проектировании бетонных составов необходимо учитывать повышение водопоглощения смеси.

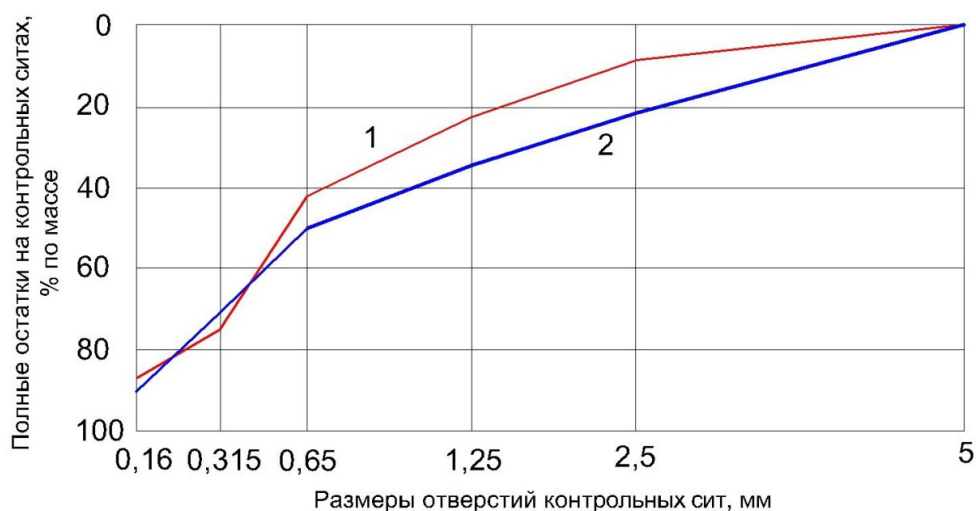


Рис. 4. Кривые гранулометрических составов природного песка (1) и песка из дробленого бетона (2)

Основные характеристики песка из дробленого бетона представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

Характеристики песка из дробленого бетона

Наименования показателей	Требования ГОСТ 32495-2013	Значения показателей для песка из дробленого бетона
Модуль крупности:	2,5–3,5	2,71
Полный остаток на сите 0,63 мм, %	45–65	50,02
Содержание зерен мельче 0,16мм, %	не более 15	10,00
Содержание пылевидных и глинистых частиц (частиц мельче 0,05 мм), %	не более 5	4,96
Содержание глины в комках, %	не более 0,5	0,0

На основании полученных результатов, можно заключить, что песок из дробленого бетона относится к крупным пескам и может использоваться в качестве мелкого заполнителя для жестких укатываемых смесей.

Для дальнейших исследований подбирались смеси БСТ В5 Ж-3 F-100 W-4. Применение дробленого заполнителя осуществлялось путем замены природного щебня на дробленый щебень и песка на дробленый песок, в количестве 20, 40 и 60% по массе. Также испытывался контрольный образец без замены природных заполнителей.

Дробленый бетон имеет частичную или сплошную оболочку из цемента с пористой структурой. Наличие такой оболочки увеличивает водопотребность смеси до 15%. Поэтому заполнитель из дробленого бетона применяется совместно с пластифицирующей добавкой (ОПТИМА-П 1). Составы бетонов представлены в табл. 3.

Особенностями смесей на основе дробленых заполнителей является процесс ускоренного структурообразования, что также влечет за собой необходимость применения пластифицирующих добавок для удлинения периода формирования структуры [4].

Таблица 3

Расход материалов на выпуск 1 м<sup>3</sup> жестких укатываемых бетонных смесей класса В5

№	Вид вяжущего	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>							Расход, кг
		Щеб.	Дроб. щеб.	Песок	Дроб. песок	Цем.	В.	Доб.	
1	В5 М75 ЖЗ(Т)	1 141	–	1 064	–	105	156	1	2 468
2	В5 М75 ЖЗ(Т) с 20% дроб. щебня	844	211	984	–	117	154	1	2 312
3	В5 М75 ЖЗ(Т) с 40% дроб. щебня	642	428	998	–	119	155	1	2 343
4	В5 М75 ЖЗ(Т) с 60% дроб. щебня	430	646	1 004	–	119	159	1	2 359
5	В5 М75 ЖЗ(Т) с 20% дроб. песка	1 045	–	779	195	116	152	1	2 288
6	В5 М75 ЖЗ(Т) с 40% дроб. песка	1 098	–	614	409	122	159	1	2 403
7	В5 М75 ЖЗ(Т) с 60% дроб. песка	1 090	–	407	610	121	160	1	2 390

На рис. 5 представлены результаты испытаний образцов на сжатие, а на рис. 6 результаты испытаний на изгиб.

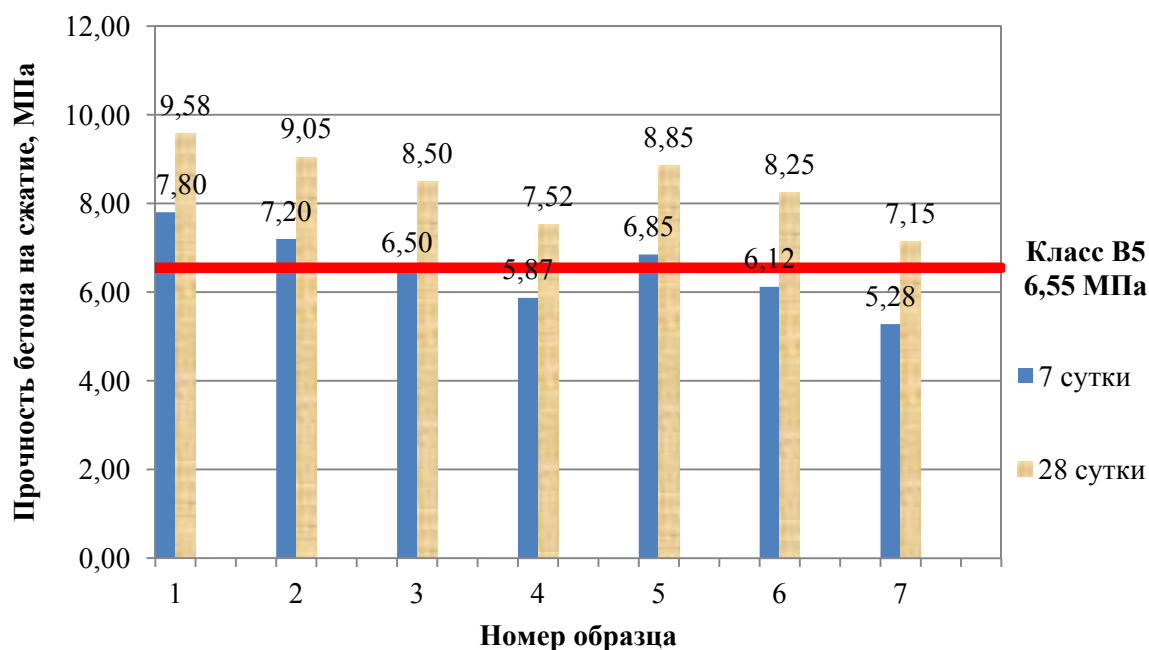


Рис. 5. Прочность образцов на сжатие: 1 – контрольный образец; 2 – образец с дробленным щебнем 20%; 3 – образец с дробленным щебнем 40%; 4 – образец с дробленным щебнем 60%; 5 – образец с дробленным песком 20%; 6 – образец с дробленным песком 40%; 7 – образец с дробленным песком 60%

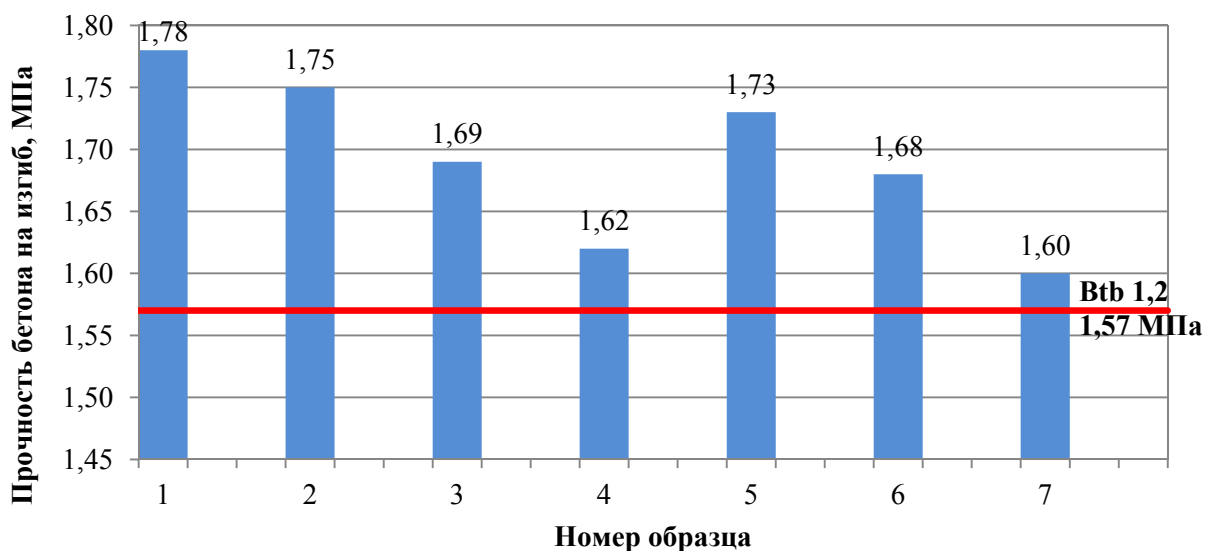


Рис. 6. Прочность образцов на сопротивление при изгибе: 1 – контрольный образец; 2 – образец с дробленным щебнем 20%; 3 – образец с дробленным щебнем 40%; 4 – образец с дробленным щебнем 60%; 5 – образец с дробленным песком 20%; 6 – образец с дробленным песком 40%; 7 – образец с дробленным песком 60%

Приведенные на рис. 5 и рис. 6 данные показывают, что подобранные составы, с содержанием дробленных материалов до 60%, удовлетворяют требованиям для применения их в качестве бетонных смесей в основаниях автомобильных дорог.

На рис. 7 представлены данные по себестоимости смесей с добавлением дробленого бетона.

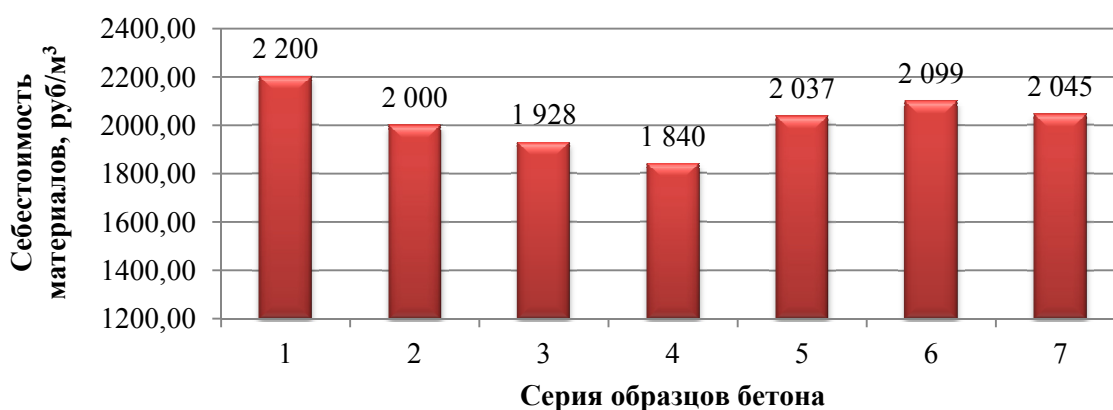


Рис. 7. Себестоимости жестких бетонных смесей (1 м³): 1 – контрольный образец; 2 – образец с дробленным щебнем 20%; 3 – образец с дробленным щебнем 40%; 4 – образец с дробленным щебнем 60%; 5 – образец с дробленным песком 20%; 6 – образец с дробленным песком 40%; 7 – образец с дробленным песком 60%



При использовании бетонов с заменой природного щебня и песка до 60%. Экономия в себестоимости составит до 17% или 360 руб/м<sup>3</sup> по сравнению с контрольным образцом на природных материалах.

### Заключение

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Проанализированы объемы и виды строительных отходов, а также возможность их вторичного использования.
2. Установлено, что наибольший объем строительных отходов (более 50%) приходится на отходы бетона. При проведении реновации в г. Москва ожидается около 13 млн м<sup>3</sup>. отходов бетона, которые можно использовать в качестве крупного и мелкого заполнителя для жёстких бетонных смесей.
3. По микроскопическим исследованиям дано описание структуры зерна дробленого бетона, имеющего развитую, шероховатую структуру.
4. Исследованы свойства дробленого бетона и подобраны составы бетонных смесей с частичной (до 60%) заменой природного заполнителя на заполнитель из дробленого бетона. Полученные результаты подтвердили возможность замены природных материалов на дробленый бетон в количестве до 60%.
5. Определена экономическая эффективность применения отходов дробления бетона в жёстких бетонных смесях для устройства бетонных оснований автомобильных дорог. Экономия в себестоимости составляет до 17% или 360 руб./м<sup>3</sup> по сравнению с бетоном на природных заполнителях.

### Список литературы

1. Лопатин, Н.А. Наиболее эффективные дробильные установки и рециклинг вторичного бетонного щебня / Н.А. Лопатин, А.И. Моторная, Е.Ю. Негуляева // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 10. – С. 34–45.

2. Фахратов, М.А. Вторичное использование бетонов в строительстве / М.А. Фахратов, А.А. Белов // *СтройПРОФИль*. – 2013. – № 104. – С. 10–11.
3. Фахратов, М.А. Организация переработки отходов бетона и вторичное использование бетонов в строительстве / М.А. Фахратов // *Системные технологии*. – 2018. – № 26. – С. 100–103.
4. Пуляев, С.М. Бетоны на заполнителях из бетонного лома для сборных железобетонных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.М. Пуляев. – М., 2005. – 19 с.

### References

1. Lopatin N.A., Motornaya A.I., Neguliaeva E.Yu. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij*, 2015, no. 10, pp. 34–45.
2. Fakhratov M.A., Belov A.A. *StrojPROFIL'*, 2013, no. 104, pp. 10–11.
3. Fakhratov M.A. *Sistemnye tekhnologii*, 2018, no. 26, pp. 100–103.
4. Pulyaev S.M. *Betony na zapolnitelyakh iz betonного лома dlya sbornykh zhelezobetonnykh izdelij* (Concrete on aggregates from concrete breakage for precast concrete products), Candidate thesis, Moscow, MGSU, 2005, 20 p.