

С.Н. ЛЕОНОВИЧ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Н.Л. ПОЛЕЙКО<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
Л.С. КУРАШ<sup>2</sup>, начальник производственно-технического отдела

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65 )

<sup>2</sup> ОАО «Нерудпром» (220024, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Асаналиева, 72)

## Применение крупного заполнителя производства ОАО «Нерудпром» для приготовления бетона

Ранее действовавшие нормативно-технические документы рекомендовали применять в качестве крупного заполнителя для бетонов класса С12/15 щебень из гравия и гравий, особенно в жилищном строительстве. Отказ предприятиями-производителями строительной индустрии от применения в качестве крупного заполнителя в бетонной смеси щебня из гравия и гравия является неоправданным и экономически нецелесообразным. В результате проведенных сравнительных исследований установлено, что применение гравия в качестве крупного заполнителя в бетонах оправданно в низкомарочных бетонах с прочностью при сжатии до класса С12/15, где не предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Допустимо использование гравия в бетонах классов С18/22,5–С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4.

**Ключевые слова:** щебень гранитный, щебень из гравия, гравий, морозостойкость, бетон, класс бетона, водонепроницаемость.

S.N. LEONOVICH<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), N.L. POLEYKO<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering),

L.S. KURASH<sup>2</sup>, Head, Production and Technical Department

<sup>1</sup> Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus)

<sup>2</sup> ОАО «Nerudprom» (72, Asanalieva Street, 220024, Minsk, Republic of Belarus)

### The Use of Coarse Aggregate Produced by ОАО «Nerudprom» for Concrete Preparation

Previously existing normative-technical documents recommended to use crushed gravel and gravel as a coarse aggregate for concretes of C12/15 class, especially in housing construction. The refusal of manufacturing enterprises to use crushed gravel and gravel as coarse aggregate for concrete mix is not economically feasible and unjustified. As a result of the comparative studies conducted it is established that the use of gravel as coarse aggregate in concretes is justified for low-grade concretes with compression strength of up to C12/15 class where the requirements for frost resistance and water-tightness are not presented. It is permissible to use gravel in concretes of C18/22.5- C20/25 classes with requirements to concretes of F100 and W4 grades.

**Keywords:** crushed granite, crushed gravel, gravel, frost resistance, concrete, concrete class, water-tightness.

Ранее действовавшие нормативно-технические документы рекомендовали применять в качестве крупного заполнителя для бетонов классов до С12/15 щебень из гравия и гравий, особенно в жилищном строительстве.

В последние годы в качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона используется преимущественно гранитный щебень. Это ведет к невостребованности более дешевых и доступных гравия и щебня из гравия, к увеличению транспортных расходов и повышению себестоимости продукции.

В ОАО «Нерудпром» производится крупный заполнитель для строительных работ, осуществляется добыча и фракционирование гравия, дробление гравия, фракционирование щебня из гравия. Крупный заполнитель выпускается в виде гравия из смеси фракций 5–20; 20–70 мм, щебень из гравия фракций 5–10 мм и смеси фракций 5–20 мм. Щебень из гравия и гравий удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» (введен 01.07.1995) и СТБ 1544–2005 «Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия» (введен 01.07.2005). Объем производства гравия составляет 120–130 тыс. м<sup>3</sup> в год, щебня из гравия – 110–130 тыс. м<sup>3</sup> в год, что является достаточным для восполнения потребностей предприятий строительной отрасли Минского региона.

В связи с вышеизложенным на кафедре «Технология строительного производства» Белорусского национального технического университета проведен комплекс исследований щебня из гравия и гравия карьеров Крапужино и Волма на предмет экономического применения их в производстве сборного железобетона и монолитном строительстве. Требования к бетонам по их эксплуатационным качествам, области применения, физико-техническим свойствам, условиям долговечно-

сти расширяют область экономического использования различных видов заполнителей. Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80% объема, а стоимость их достигает 50% стоимости бетонных и железобетонных конструкций, то становится понятным, что правильный выбор заполнителей, наиболее рациональное их применение имеют большое влияние на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, технико-экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного, монолитного бетона и железобетона в целом.

При проектировании составов бетонной смеси исходят из необходимости получения бетона заданной прочности, консистенции и долговечности при минимальном расходе цемента. Для тяжелых бетонов минимальный расход цемента обеспечивается максимальным насыщением объема бетона заполнителями и минимальной пустотностью смеси заполнителей.

Удельная поверхность гравия, зерна которого имеют округлую, окатанную форму, меньше удельной поверхности щебня с шероховатыми зернами угловатой формы. При одинаковой крупности гравий, поскольку зерна его укладываются более компактно, отличается от щебня несколько меньшей пустотностью. Удобоукладываемость бетонной смеси, при прочих равных условиях, лучше на гравии, чем на щебне. Это позволяет несколько снизить водоцементное отношение при сохранении заданной подвижности. Благодаря этому в бетонах на гравии (с прочностью на сжатие не выше класса С20/25) наблюдается даже экономия цемента (до 15–20%) по сравнению с бетоном на щебеночном заполнителе, в том числе и гранитном щебне.

Качество заполнителей для бетона определяется прочностью сцепления цементного камня с поверхностью зерен заполнителей, собственной прочностью за-

Таблица 1

Состав	Расход составляющих на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг						Класс бетона
	Цемент	Песок	Вода	Щебень гранитный	Щебень из гравия	Гравий	
1	230	870	140	1170	–	–	C12/15
2	230	870	140	–	1170	–	C12/15
3	230	870	140	–	–	1170	C12/15
4	350	750	180	1120	–	–	C20/25
5	350	750	180	–	1120	–	C20/25
6	350	750	180	–	–	1120	C16/20
7	460	710	200	1050	–	–	C25/30
8	460	710	200	–	1050	–	C22/27,5
9	460	710	200	–	–	1050	C20/25
10	350	860	180	1020	–	–	C20/25
11	350	860	180	–	1020	–	C20/25
12	350	860	180	–	–	1020	C18/22,5
13	350	750	180	1120	–	–	C20/25
14	370	740	185	–	1110	–	C20/25
15	395	730	190	–	–	1080	C20/25

полнителей, формой зерен и чистотой поверхности [3, 4]. Установлено, что на конечную прочность бетона помимо качества заполнителей решающее значение оказывает и расход составляющих бетонной смеси, количество крупного заполнителя и соотношение мелкого и крупного заполнителей.

Для определения области применения щебня из гравия и гравия, выпускаемого ОАО «Нерудпром», в качестве крупного заполнителя для производства бетонных и железобетонных сборных и монолитных из-

делий и конструкций проведены исследования с целью подтверждения возможности и технико-экономической целесообразности получения бетонов с нормируемыми показателями качества. Испытаны составы бетона с различным содержанием цемента и крупного заполнителя. В качестве крупного заполнителя применялся щебень из гравия ДСЗ «Крапужино» и, для сравнения, гранитный щебень РУП «Гранит» фракции 5–20 мм.

Составы бетона, по которым оценивалось рациональное применение заполнителей, приведены в табл. 1.

Таблица 2

Физико-технические характеристики бетона	Состав		
	4	5	6
Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	2448	2403	2387
Водопоглощение, мас. %	4,4	4,45	5,02
Прочность на сжатие, МПа	34,5	32,4	27,8
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	4,66	4,48	4,35
Морозостойкость	F150	F100	F100
Водонепроницаемость	W4	W4	W4

Таблица 3

Состав	Прочность при сжатии, МПа	Марка по морозостойкости
1	18,3	F75
2	18,8	F75
3	17,7	F75
4	34,5	F150
5	32,4	F100
6	27,8	F100
7	44,2	F250
8	37,1	F150
9	33,7	F150

Физико-технические характеристики бетона определялись на составах 4–6. Результаты испытаний, приведенные в табл. 2, показывают, что применяемые заполнители удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267–93 и СТБ 1544–2005.

Одной из основных характеристик бетона является его морозостойкость. С этой целью проведены испытания на морозостойкость бетона, содержащего крупный заполнитель указанных предприятий (составы 1–9, табл. 1).

Подбор состава бетона осуществляли исходя из класса бетона по прочности на сжатие C12/15 (составы 1–3), C20/25 (составы 4–6) и C25/30 (составы 7–9) (подвижность бетонной смеси ОК 1–4 см). Доля песка в смеси заполнителей составляла 40%. В качестве вяжущего применялся цемент М500 до производства ОАО «Красносельскстройматериалы».

Результаты испытаний на морозостойкость и прочность бетона составов 1–9 приведены в табл. 3 и показывают, что прочность бетонных образцов составов 1–3 отличается незначительно и находится в пределах

17,7–18,3 МПа. Это подтверждает, что на низкомарочных бетонах (С10/12,5 – С12/15) прочность крупного заполнителя не оказывает большого влияния на их свойства.

Разрушение бетонных образцов при испытании происходило по зоне контакта цементный камень – заполнитель. Бетон разрушался от поперечного растяжения.

По результатам испытаний на прочность при сжатии составов 4–6 можно сделать вывод, что в составах, где в качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень и щебень из гравия, класс бетона соответствует классу С20/25. На крупном заполнителе из гравия класс бетона приближается к классу С18/22,5. Отличие в прочности бетонных образцов составов 7–9 значительно. Если прочность бетона состава 7 соответствует классу С25/30–С28/35, то в составах 8 и 9 – С22/27,5 и С20/25 соответственно. Бетон разрушался от сквозных трещин, пронизывающих как цементный камень, так и заполнитель.

Морозостойкость бетона составов 1–3 соответствует марке F75. Морозостойкость для состава 4 соответствует марке F150 и для составов 5–6 – F100, что значительно расширяет возможность использования гравия и щебня из гравия для бетонов, где предъявляются требования по морозостойкости от F25 до F100 включительно. Морозостойкость состава 7 (F250) выше морозостойкости составов 8 и 9 на две марки F150 (табл. 3).

Снижение морозостойкости бетона на гравии в первую очередь связано с наличием слабых зерен в гравии и окатанной формой зерен гравия, что облегчает прохождение воды сквозь тело бетона в зоне контакта заполнителя и растворной части и в конечном итоге приводит к разрушению бетонных образцов.

Учитывая различную стоимость щебня из гравия и гравия производства ОАО «Нерудпром» и гранитного щебня производства РУП «Гранит», использование их в строительстве является экономически целесообразным. Расчет себестоимости бетонной смеси составов 1–15 (табл. 1) проводился исходя из отпускной стоимости материалов:

Цемент М500	– 898810 р./т
Песок высшего класса	– 38017 р./м <sup>3</sup>
Щебень гранитный фр. 5–20 мм	– 170520 р./т
Щебень из гравия фр. 5–20 мм	– 58488 р./м <sup>3</sup>
Гравий фр. 5–20 мм	– 40942 р./м <sup>3</sup>

Цены приведены по состоянию на 1 февраля 2013 г.

Проведя анализ себестоимости различных составов бетонной смеси, можно сделать заключение, что себестоимость всех составов бетонов (с низким расходом – 230 кг цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси и с высоким расходом – 460 кг цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси) на щебне из гравия на 10–18% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне. Себестоимость бетонной смеси на гравии на 20–28% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне. При повышении расхода мелкого заполнителя в бетонной смеси уменьшается расход щебня и гравия. Соответственно уменьшается и разница в себестоимости бетонной смеси. И тем не менее на щебне из гравия стоимость ниже на 12%, а на гравии – на 32% ниже, чем на гранитном щебне (составы 10–12).

Для достижения одинаковой прочности бетона на различных видах крупного заполнения запроецированы составы бетонной смеси 13–15 (табл. 1). При этом увеличение расхода цемента составило на щебне из гравия 20 кг/м<sup>3</sup>, а на гравии – 45 кг/м<sup>3</sup> в сравнении с гранитным щебнем. Себестоимость бетонной смеси оказалась ниже на щебне из гравия на 8,7%, а на гравии – на 9,3%. Из этого следует, что для достижения одинаковой

проектной прочности бетона за счет увеличения расхода цемента можно получить экономию себестоимости продукции до 10%. Учитывая в расчетах себестоимость бетонной смеси затраты на транспортные расходы, экономические показатели увеличиваются на 5–20% в зависимости от расстояния перевозки.

Отказ предприятиями – производителями строительной индустрии от применения в качестве крупного заполнителя в бетонной смеси щебня из гравия и гравия является неоправданным и экономически нецелесообразным.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Щебень из гравия и гравий удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267–93 и соответствуют СТБ 1544–2005 для применения его в качестве крупного заполнителя для производства тяжелого бетона.
2. Применение гравия в качестве крупного заполнителя оправданно в низкомарочных бетонах с прочностью на сжатие до класса С12/15, где не предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Допустимо использование гравия в бетонах классов С18/22,5–С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4.
3. В качестве крупного заполнителя щебень из гравия целесообразно применять в бетонах до класса С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4; допустимо использование в бетонах до класса С20/25–С22/27,5 с F150 и W6.
4. Себестоимость 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси на щебне из гравия на 10–18%, на гравии – на 20–32% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне.

#### Список литературы

1. Старчуков Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы // *Бетон и железобетон*. 2011. № 14. С. 22–24.
2. Загер И.Ю., Яшинкина А.А., Андропова Л.Н. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого автономного округа // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 84–86.
3. Добшиц Л.М., Магомедэминов И.И. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов // *Бетон и железобетон*. 2012. № 4. С. 16–19.
4. Петров В.П., Токарева С.А. Пористые заполнители из отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 46–50.

#### References

1. Starchukov D. S. Concrete of the accelerated curing with additives of strong substances of the inorganic nature. *Beton i zhelezobeton*. 2011. No. 14, pp. 22–24. (In Russian).
2. Zager I.Yu. Yashinkina A.A. Andropova L.N. Comparative assessment of products of crushing of rocks of fields of nonmetallic construction materials of the Yamalo-Nenets Autonomous Area. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 84–86. (In Russian).
3. Dobshits L.M. Magomedeminov I.I. Determination of frost resistance of large filler for heavy concrete. *Beton i zhelezobeton*. 2012. No. 4, pp. 6–19. (In Russian).
4. Petrov V.P., Tokareva S. A. Porous fillers from industry waste. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 46–50. (In Russian).