ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

© М. С. Сайдумов¹, Т. С-А. Муртазаева^{1,2}, А. Х. Аласханов¹, В. А. Байтиев¹

¹ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

²Академия наук ЧР, Грозный, Россия

Технологические и эксплуатационные свойства бетонных и растворных смесей формируются за счет правильного учета в их рецептуре таких показателей, как форма и характер поверхности зёрен, зерновой состав, межзерновая пустотность, водопотребность и предельный размер частиц. Поэтому для проектирования доброкачественного состава необходимо изучить влияние гранулометрического состава мелкого и крупного заполнителей на основные свойства бетонных и растворных смесей. В работе поставлена цель оптимизировать гранулометрический состав заполнителей.

Работа выполнена в рамках исследований по реализации научного проекта № 18-48-200001 «Высококачественные бетоны с повышенными эксплуатационными свойствами на основе местного природного и техногенного сырья», получившего поддержку Российского фонда фундаментальных исследований» (РФФИ).

Ключевые слова: гранулометрический состав, бетонные смеси, пустотность, водопотребность, заполнитель, инертный компонент.

Как известно, в бетонных и растворных смесях, используемых в строительстве в качестве инертных компонентов, применяют материалы определенной гранулометрии природного или техногенного происхождения. Инертные компоненты, называемые заполнителями, классифицируются в зависимости от размеров на мелкие (песок) и крупные (щебень или гравий). К щебню (гравию), как правило, относят минеральные грубодисперсные конгломераты крупностью зёрен более 0,005 м. Щебень, отличающийся угловатой формой зерен, получают путем дробления различных горных пород, а гравий имеет природное происхождение и окатанную форму.

Песок, применяемый в качестве мелкого заполнителя, также классифицируют по крупности зерен на фракции менее 0,005 м, может быть заполнителем как природного происхождения, так технологического и техногенного происхождения, например, зола ТЭЦ, шлаки, отсеивы дробления отходов строительства и др.

Кроме того, по своим физическим параметрам заполнители делятся на плотные (при истинной плотности компонентов по ГОСТ 8735 более 2000 кг/м³) и пористые – при меньших значениях истинной плотности.

Эксплуатационной характеристикой пористых песков является значение их насыпной плотности (для пористых песков не более 1400 кг/м³).

Для получения пористых заполнителей используют горные породы (ГОСТ 2263 «Щебень и песок из пористых горных пород. Технические условия»), или же используют искусственно полученные полуфабрикаты (ГОСТ 9757 «Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия», ГОСТ 10832 «Щебень и песок перлитовые вспученные. Технические условия», ГОСТ 12865 «Вермикулит вспученный») и др.

Корректировка гранулометрии состава заполнителя, а также повышение эффективности технологических свойств (удобоукладываемости, повышения водоудерживающей способно-

сти, снижения деформаций усадки) бетонных и растворных смесей, а также для обеспечения гарантированной высокой прочности смесей, в состав вяжущего вводят мелкодисперсные порошкообразные материалы – наполнители с размерами частиц 0,05-0,16 мм. Наиболее часто применяемые среди них – размельчённые кварцевые пески, микрокальций, пылеобразный природный кварц (маршалит), мука из известняка и доломита и др.

Сырьевая база наполнителя весьма разнообразна, в которой можно выделить тальк и талькомагнезит, молотую слюду и др.

Для получения рецептуры высокопрочных, особопрочных и высокоплотных бетонов и растворов применяют особотонкодисперсные наполнители – микрокремнезем, зола-уноса ТЭС, ОТДВ «Микродур», белая сажа, которые за счет своей реакционной способности при условии использования механохимической активации дают упрочнение твердеющей системы.

Технологические и эксплуатационные свойства бетонных и растворных смесей формируются за счет правильного учета в их рецептуре таких показателей, как форма и характер поверхности зёрен, зерновой состав, межзерновая пустотность, водопотребность и предельный размер частиц. Не менее важно учитывать для проектирования доброкачественного состава его минералогический состав, фактические значения содержания илистых и глинистых веществ, процент комкового содержания глины и т. д.

Широко применяемые в последние десятилетия сухие строительные смеси выпускают с использованием в качестве заполнителя различных фракций кварцевых песков (ГОСТ 8736 «Песок для строительных работ. Технические условия»), хотя могут быть использованы и другие пески, свойства которых отвечают требованиям ГОСТ 8735 «Песок для строительных работ. Методы испытаний». Допустимое содержание вышеуказанных примесей регламентируется обязательным приложением А к ГОСТ 8736. Допустимое содержание глинистых веществ и наличие глины в комках стандарт конкретной страны или содружества определяют самостоятельно, но, как правило,

допустимое их содержание колеблется в интервале до 5% от массы глинистых частиц.

Оценка качества крупного и мелкого заполнителя (гранулометрии, формы зёрен и т. п.) для бетонных и растворных смесей производится с использованием специальной строительной литературы [1, 2]. Однако самостоятельного подхода требует мелкий заполнитель для приготовления строительных растворных смесей.

Так, например, СП 82-101-98. «Приготовление и применение растворов строительных» [3] не рассматривает вопрос об определении вида, модуля крупности и фракционного состава мелкого заполнителя в зависимости от назначения строительного раствора. Рекомендации [3] по применению песков для приготовления штукатурных растворов ограничиваются той информацией, что мелкий заполнитель должен отвечать требованиям ГОСТ 8736 «Песок для строительных работ», в то время как не приводятся какие-либо рекомендации, касающиеся использования песков различного модуля крупности и класса в строительных растворах различного назначения.

В то же время в [3] содержатся требования по обеспечению предельного размера зёрен мелкого заполнителя для слоёв обрызга и грунта при штукатурке, который не должен превышать 2,5 мм. Надо отметить, что такое ограничение технически не обосновано, более того, оно препятствует достижению основной цели создания первого штукатурного слоя – обеспечению условий, способствующих образованию монолитной конструкции штукатурных слоёв. Мелкое зерно, утопленное в данной конструкции в слое штукатурного покрытия, оказывается в соответствии с вышеизложенной концепцией практически бесполезным. С целью обеспечения требуемой шероховатости поверхности и прочного сцепления штукатурных слоёв грунта с основанием, максимальный размер зёрен заполнителя не должен превышать размер толщины слоя обрызга. Если работа ведется на равновпитывающих поверхностях, обрызг наносят отдельными островками – «бляшками», покрывая до 50% оштукатуриваемой поверхности.

Ограничение предельного размера (2,5 мм) зерна в штукатурках в соответствии с правилами, действовавшими в России, в работе, опубликованной в 30-х годах прошлого столетия, отмечается как определенное недоумение. Если сравнивать данный параметр в составе штукатурных растворов для развитых стран мира, то картина выглядит следующим образом: в Великобритании – 4,76 мм, в США – 4,76 мм, в Германии – 7 мм, в Дании – 5 мм. В стандарте [4], часть 2 максимальный размер зерна в слое обрызга штукатурки для наружных поверхностей должен составлять 0/4-0/8 мм, для внутренних – 0/2-0/4 мм, а для слоёв грунта и в первом, и во втором случае – 0/2-0/4 мм, при этом доля крупных зёрен по возможности должна быть большой. Снижение величины размера зерна в слоях обрызга и грунта приводит к уменьшению прочности и адгезии штукатурных слоёв, что, несомненно, отрицательно влияет на долговечность штукатурных покрытий. В современных условиях с учетом автоматизации и механизации производства штукатурных работ предельный размер зерна в рецептурах для слоя обрызга может быть повышен до 4 мм, что отвечает рабочим параметрам штукатурных установок.

Оптимальный гранулометрический состав песка для строительных растворов подбирается следующим образом.

С целью обеспечения наименьшего объема пустот (межзерновой пустотности) предпочтительными считают пески смешанного (непрерывного) состава.

Оптимальный, с позиции формирования строительно-технических свойств, гранулометрический состав растворов смесей и растворов достигается, если его характеристики отвечают «идеальной» кривой просеивания [1]. Такое поведение расчетной кривой обеспечивает наиболее рациональную и плотную упаковку зёрен.

Конечно, на плотность упаковки песчаных частиц оказывает влияние шероховатость поверхности зёрен и их форма, что необходимо учитывать при построении «идеальных» кривых просеивания гранулометрического состава.

Межгосударственный стандарт [5] дает лишь общую картину упаковки зёрен песка и состояния их поверхности. Для корректирования состава полученной информации недостаточно, поэтому для уточненной оценки формы частиц необходимо воспользоваться положениями [6], которые основаны на методе определения коэффициента угловатости зёрен, изменяющегося в пределах 1.2-1.6. В основу определения коэффициента положено определение соотношения истинной и теоретической удельных поверхностей.

Форма зёрен заполнителя оказывает влияние на удобоукладываемость (подвижность) бетонных и растворных смесей, а также на их прочность после затвердевания. Зёрна кубовидной или округлой формы считаются предпочтительными. Для обеспечения более высокой степени смешивания частиц заполнителя с цементным камнем, а значит и повышения прочности раствора, поверхность заполнителей должна быть шероховатой. Данные по определению адгезии полированных пластинок кварца и применяемых в исследованиях химически инертных минералов с цементным камнем колеблются в пределах от 0,6 до 1,0 МПа, показатели когезии цементного камня колеблются от 3,0 до 4,5 МПа. Следовательно, при наиболее развитой поверхности зёрен заполнителя адгезия его с цементным камнем за счет реакций сцепления цементного камня с рельефом поверхности возрастает примерно в 4 раза [7].

При подборе оптимального гранулометрического состава по «идеальным» кривым просеивания соотношения зёрен различных размеров имеют наибольшую подвижность при наименьшем расходе цемента и менее подвержены к расслаиванию [8].

«Идеальная» гранулометрия зерен мелко-го заполнителя по Фуллеру описывается уравнением:

$$A = 100 - \sqrt{\frac{di}{D}}, \% \quad (1)$$

где A – проход заполнителя через ячейку сита с размером d , мм (% по массе);

di – размер ячейки, мм;

D – наибольший размер зерна растворной смеси, мм.

Рис. 1 «Идеальная» кривая по Фуллеру

В линейных координатах «идеальная» гранулометрическая кривая по Фуллеру имеет вид параболы (рис. 1).

Г. Ротфуксом [9] предложен графический способ построения таких «идеальных» кривых, которые представлены прямыми линиями (рис. 2). График на рис. 2 по оси ординат показывает массовые значения (%) проходов материала через сита с ячейкой \$d_i\$, мм, а по оси абсцисс в линейном масштабе приведены значения \$Vd_i\$, мм.

«Идеальная» кривая строится с учетом содержания в смеси зёрен наименьшего размера.

Для «идеальной» кривой при минимальном размере зерна в смеси 0,1 мм уравнение имеет вид:

$$A = 100 \frac{\sqrt{\frac{d_i}{D}} - \sqrt{\frac{0,1}{D}}}{1 - \sqrt{\frac{0,1}{D}}}, \% \quad (2)$$

Рекомендации фирм-производителей популярных сухих строительных смесей по выбору наиболее рациональной гранулометрии отмечают достаточное соответствие предложенных рекомендаций с приведенным выше подходом к «идеальной» гранулометрической кривой заполнителя.

Рекомендации [9] для строительных растворов при наибольшей крупности зерна 2 мм фирмы «Henkel», BautechnikCeresit по разработанным кривым рассева песков представлены на рис. 2. На графике сплошная линия соответствует 0,05 мм, который откорректирован на наименьший размер частиц «идеальной» кривой. Эта линия (рис. 2) проходит в середи-

Рис. 2 «Идеальная» кривая по Ротфуксу

не области, между рекомендуемыми кривыми наиболее рационального гранулометрического состава, что показывает хорошую сходимость по Фуллеру рекомендуемых и «идеальной» кривой.

Получить «идеальную» кривую гранулометрического состава через технологические усилия, как правило, сложно и сопряжено с большими затратами, вследствие чего на практике используют графики (рис. 3), на которых с использованием граничных кривых рассева состава выделяются области качественных смесей и смесей, допуск которых возможен в качестве заполнителей для растворных смесей.

Идеология изложенного подхода к выбору «идеальных» кривых рассеивания фракций мелкого заполнителя сохраняется и при оптимизации гранулометрии минеральных наполнителей.

Как отмечалось выше, подвижность бетонных и растворных смесей связана не только и не только с особенностями кривых рассеивания заполнителя, формой частиц и рельефом их поверхности, но и с генезисом частиц. Кварцевые пески в растворных смесях в технологическом отношении ведут себя совершенно по-иному, в сравнении с растворами на известняковых песках.

Такое поведение обусловлено различием зарядов поверхности этих компонентов. Кварц отличается сильным отрицательным поверхностным зарядом, в то время как поверхность силикатных материалов считается слабо отрицательной, карбонат кальция обладает слабым

Рис. 3 График определения доброкачественных смесей по гранулометрическому составу, допускаемых к применению

положительным поверхностным зарядом, а гидроксид кальция – сильным положительным. Частички с разными зарядами поверхности, в соответствии с законами электростатики, в растворных смесях притягиваются друг к другу, что обеспечивает усиление внутренней связности системы, одновременно обеспечивая требуемую пластификацию растворных смесей [11].

Таким образом, оптимизация грануло-

метрического состава заполнителей является весьма наукоемкой и ответственной задачей.

Получение качественных бетонных и растворных смесей не представляется возможным без ответственного подхода к процессу подбора рецептуры бетонных и растворных смесей с учетом возможного влияния свойств мелкого и крупного заполнителя на их технологические и строительно-технические показатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. Научн. изд. АСВ. 2006. 368 с.
2. Современные строительные материалы, технологии и конструкции: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова» (24-26 марта 2015 г., г. Грозный). В 2-х томах. Т. 1. Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий»», 2015. 658 с.
3. СП 82-101-98 Приготовление и применение растворов строительных.
4. DIN 18550 «Штукатурка и штукатурные системы» (Германия).
5. Межгосударственный стандарт песок для строительных работ. Методы испытаний Sand for construction work. Testing methods.
6. ГОСТ 29234.12 «Пески формовочные. Метод определения формы зёрен песка».

7. Современные строительные материалы, технологии и конструкции: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова» (24-26 марта 2015 г., г. Грозный). В 2-х томах. Т. 2. Грозный; ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2015. 708 с.
8. *Барина Л. С.* Прогноз основных тенденций развития рынка строительных материалов в России // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. №2. С. 8-11.
9. Стратегия развития строительного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года. М.: Госстрой РФ, 2013.
10. *Муртазаев С.-А. Ю.* Мелкозернистые бетоны из техногенного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений / Ю. М. Баженов, С.-А. Ю. Муртазаев, Д. К.-С. Батаев [и др.]. Грозный: 2011. 342 с.
11. *Lorenzis L. de Miller B., Nanni A.* Bond of FRP laminates to concrete // ACI Material Journal. 2001. V. 98. №3. P. 256-264.

INFLUENCE OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF AGGREGATES ON THE PROPERTIES OF CONCRETE AND MORTAR MIXTURES

© Saydumov M. S.¹, Murtazaev T. S.-A.^{1,2}, Alashkhanov A. Kh.¹, Baytiev V. A.¹

¹GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russia

The technological and operational properties of concrete and mortar mixtures are formed due to the correct consideration in their formulation of indicators such as the shape and nature of the surface of the grains, grain composition, intergranular voidness, water demand and maximum particle size. Therefore, to design a benign composition, it is necessary to study the effect of particle size distribution of small and large aggregates on the basic properties of concrete and mortar mixtures. The goal is to optimize the particle size distribution of aggregates.

The work was implemented as part of research on the fulfillment of scientific project No. 18-48-200001 "High-quality concrete with enhanced performance properties based on local natural and secondary raw materials," which received support from the Russian Foundation for Fundamental Research (RFFR).

Keywords: particle size distribution, concrete mixtures, voidness, water demand, aggregate, inert component

REFERENCES

1. Bazhenov, Yu. M., V.S. Demyanova and V.I. Kalashnikov (2006) Modified high-quality concrete Scientific ed. ABC. 368 p.

2. 'Modern building materials, technologies and designs' (2015) Materials of the International scientific-practical conference dedicated to the 95th anniversary of FSBEI HPE "GSTOU named after acad. M. D. Millionschikov" (March 24-26, 2015, the city of Grozny). In 2 volumes. V. 1. Grozny: FSUE Publishing and Printing Complex "Grozny Worker", 658 p.
3. SP 82-101-98 Preparation and use of construction solutions.
4. DIN 18550 "Plaster and plaster systems" (Germany).
5. Interstate sand standard for construction work. Sand for construction work test methods. Testing methods.
6. GOST 29234.12 «Molding sands. Method for determining the shape of sand grains».
7. Modern building materials, technologies and designs (2015) Materials of the International scientific-practical conference dedicated to the 95th anniversary of FSBEI HPE "GSTOU named after acad. M. D. Millionschikov" (March 24-26, 2015, the city of Grozny). In 2 volumes. T. 2. Grozny; FSUE Publishing and Printing Complex "Grozny Worker". 708 p.
8. Barinova, L. S. (2005) Forecast of the main trends in the development of the building materials market in Russia. Building materials, equipment, technologies of the 21st century. No. 2. Pp. 8-11.
9. (2013) The development strategy of the construction complex of the Russian Federation for the period until 2020. M.: Gosstroy of the Russian Federation.
10. Murtazaev, S-A. Yu., Bazhenov, Yu. M., Bataev, D. K.-S. and others (2011) 'Melkozernistye betony iz tekhnogennogo syr'ya dlya remonta i vosstanovleniya povrezhdennykh zdanii i sooruzhenii' [Fine-grained concrete from technogenic raw materials for repair and restoration of damaged buildings and structures]. Grozny, 342 p.
11. Lorenzis, L. de Miller B. Nanni A. (2001) Bond of FRP laminates to concrete. ACI Material Journal. V 98, 3. P. 256-264.