

Экспериментальное определение прочности и модуля упругости бетона, изготовленного из сырья Ситинского месторождения

А.В. Белов

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Аннотация: В статье представлены результаты экспериментальных исследований прочности на сжатие и модуля упругости тяжёлого бетона, изготовленного с использованием гравийного заполнителя из Ситинского месторождения (Хабаровский край). Испытания проведены в лаборатории ТОГУ на образцах-кубах ($100 \times 100 \times 100$ мм) и призмах ($100 \times 100 \times 400$ мм) в соответствии с ГОСТ 10180-2018 и ГОСТ 24452-2023. Определено, что средняя прочность бетона варьируется от 40,4 до 46,0 МПа, а модуль упругости - от 25982 до 30539 МПа в зависимости от гранулометрического состава заполнителя. Полученные данные подтверждают высокое качество местного сырья и возможность его применения при производстве бетонов класса В30 и выше.

Ключевые слова: бетон, гравий, Ситинское месторождение, прочность на сжатие, модуль упругости, натурные испытания.

Введение

Рациональное использование местных строительных материалов — один из ключевых факторов снижения стоимости и повышения устойчивости строительного производства как в мире [1–3], так и в нашей стране [4–6], в частности на Дальнем Востоке. Применение региональных заполнителей позволяет сократить транспортные расходы, снизить углеродный след и повысить экономическую эффективность строительства [7, 8].

Однако физико-механические характеристики бетона, изготовленного на основе местного сырья, могут существенно отличаться от нормативных значений, полученных для стандартных щебеночных заполнителей [9, 10]. Особенно это касается таких параметров, как прочность на сжатие и модуль упругости, которые напрямую зависят от формы, шероховатости и адгезионных свойств зёрен заполнителя [6, 11].

Гравий Ситинского месторождения (Хабаровский край) долгое время применяется в бетонных смесях, однако его физико-механические характеристики в составе бетона требуют систематической верификации [10]. Учёт реальных деформационных свойств бетона на гравии особенно

важен при проектировании несущих конструкций в сейсмоопасных районах, где точное знание модуля упругости критично для расчёта жёсткости и устойчивости зданий [11].

Постановка задачи

Целью настоящего исследования является экспериментальное определение прочности на сжатие и модуля упругости бетона на основе гравия Ситинского месторождения при различных фракциях заполнителя.

Методы исследования и результаты

Испытания выполнены в лаборатории ТОГУ. Испытаниям подвергнуты 9 образцов кубов размером 100×100×100 мм и 9 призм размером 100×100×400 мм. Бетонные смеси приготовлены на гравии Ситинского месторождения трёх фракций: 5-20 мм; 10-20 мм; 5-10 мм. Все образцы изготовлены с проектной маркой М300.

Результаты испытаний кубов представлены в таблице 1. Результаты испытаний призм представлены в таблице 2.

Таблица 1

Прочность бетона на сжатие (кубы 100 мм)

Маркировка серий	Маркировка образцов	Средняя плотность образца в момент испытания, г/см ³	Разрушающая нагрузка, кН (кгс)	Прочность бетона, приведенная к базовому размеру образца, МПа	Средняя прочность по серии образцов, МПа
1	2	3	4	5	6
Фракц. 5-20	1	2.32	408.4	38.7	40.4
	2	2.31	439.9	41.7	
	3	2.29	430.1	40.8	
Фракц. 10-20	1	2.36	490	46.5	46
	2	2.36	474	45.0	
	3	2.34	490	46.5	
Фракц. 5-10	1	2.30	450	42.7	42.1
	2	2.30	476	45.2	
	3	2.31	403	38.3	

Таблица 2

Прочность бетона на сжатие (кубы 100 мм)

Маркировка серий	Маркировка образцов	Средняя плотность образца в момент испытания, г/см ³	Разрушающая нагрузка, кН (кгс)	Нагрузка составляющая 30% от разрушающей	Среднее значение показаний тензометров при нагрузке 30% от разрушающей, мм.	Модуль упругости бетона отдельных образцов, 10 ³ МПа	Средний модуль упругости бетона в серии образцов, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8
Фракц. 5-20	1	2.33	320	96	35×10 ⁻³	27.43	26872
	2	2.32	345	103.5	38×10 ⁻³	27.24	
	3	2.28	372	111.6	43×10 ⁻³	25.95	
Фракц. 10-20	1	2.37	390	117	40×10 ⁻³	29.25	30539
	2	2.39	410	123	38×10 ⁻³	32.37	
	3	2.37	335	100.5	33.5×10 ⁻³	30.00	
Фракц. 5-10	1	2.31	360	108	41.3×10 ⁻³	26.18	25982
	2	2.31	340	102	39×10 ⁻³	26.15	
	3	2.26	350	105	41×10 ⁻³	25.61	

Испытания проводились на прессе ИП-1000, кубы на прочность по ГОСТ 10180-18, призмы (призменная прочность и модуль упругости) по ГОСТ 24452-2023 с фиксацией перемещений при помощи тензометров с ценой деления 0,001 мм.

Для объективной оценки полученных характеристик бетона проведено сравнение с нормативными данными, приведёнными в СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (таблица 6.4). Согласно этому документу, для тяжёлого бетона класса В30 (соответствует марке М400) начальный модуль упругости при влажности 40–70 % составляет 32 500 МПа, а для бетона класса В25 (марка М350) - 30 000 МПа.

В таблице 3 представлено сравнение экспериментальных значений, полученных при испытаниях и начальный модуль упругости по СП 63.13330.2018.

Таблица 3

Анализ экспериментальных значений модуля упругости

Фракция гравия, мм	Средняя прочность, МПа	Экспериментальный модуль упругости, МПа	Приблизительный класс бетона	Нормативный модуль упругости (СП 63.13330.2018), МПа
10-20	46.0	30539	B35	~34500
5-20	40.4	26872	B30	32500
5-10	42.1	25982	B30	32500

Анализ показывает, что экспериментальные значения модуля упругости ниже нормативных на 15 - 25 %. Такое расхождение может быть связано с рядом факторов:

- использованием гравийного (не дроблёного) заполнителя, который обладает более гладкой поверхностью и, как следствие, пониженным сцеплением с цементным камнем;
- возможным неоптимальным водоцементным отношением или недостаточным уплотнением бетонной смеси при изготовлении образцов;
- тем, что нормативные значения даны для оптимального зернового состава с применением щебня, а не гравия.

Тем не менее, даже при сниженном модуле упругости, все образцы продемонстрировали прочность выше проектной марки М300 (фактический класс В30 - В35). Это свидетельствует о высоком качестве гравия Ситинского месторождения и его пригодности для производства бетонов класса В25 - В35.

В инженерной практике при проектировании конструкций с использованием бетона на основе местного гравия рекомендуется корректировать расчётные характеристики на основе экспериментальных

данных, а не полагаться исключительно на нормативные таблицы, составленные преимущественно для щебеночных заполнителей.

Заключение

1. Гравий Ситинского месторождения обеспечивает получение бетона класса В30 - В35 при стандартном составе.
2. Оптимальная фракция 10 - 20 мм, при которой достигаются максимальные значения прочности и модуля упругости.
3. Результаты подтверждают возможность локализации бетонного производства в Хабаровском крае без импорта заполнителей.
4. Рекомендуется использовать полученные данные при проектировании мостов, фундаментов и несущих конструкций в сейсмоопасных районах, корректируя нормативный модуль упругости в сторону понижения на 15 - 25 % при использовании гравийного заполнителя.

Литература

1. Yoon Y.G., Choi H., Oh T.K. Study on prediction and application of initial chord elastic modulus with resonance frequency test of // ASTM C215 Appl. Sci., 10 (2020), p. 5464.
2. Wang Z., Gao Z., Wang Y., Cao Y., Wang G., Liu B., Wang Z. A new dynamic testing method for elastic, shear modulus and Poisson's ratio of concrete // Constr. Build. Mater., 100 (2015), pp. 129-135.
3. Pacheco-Torgal F., Jalali S. Reusing ceramic wastes in concrete // Constr. Build. Mater., 24 (5) (2010), pp. 832-838.
4. Корсун В. И. Влияние климатических условий Юго-Восточной Азии на прочность и модуль упругости бетона // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26-30 апреля 2021 года / Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Том Часть 2. – Санкт-

Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2021. С. 379-381.

5. Жаворонков М. И. Результаты испытаний модуля упругости фибробетона // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 9-1(84). С. 218-222.

6. Воднев Б. С., Гаг И. Э. Исследование прочности модуля упругости тяжелых бетонов // Избранные доклады 65-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых : Сборник докладов, Томск, 25 апреля 2019 года. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. С. 192-198.

7. Бутакова М. Д., Зырянов Ф. А. Исследование свойств бетонных смесей и бетонов на основе мелкозернистых минеральных отходов горного производства // Инженерный вестник Дона. 2012. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/983

8. Yehia S., Abdelfatah A., Mansour D. Effect of aggregate type and specimen configuration on concrete compressive strength // Crystals, (2020), p. 625.

9. Варламов, А. А. Оценка модуля упругости бетона // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2014. Т. 2. С. 65-70.

10. Маилян Д. Р., Кургин К. В. О необходимости трансформации базовой аналитической зависимости " $\sigma^b-\epsilon^b$ " бетона // Инженерный вестник Дона. 2011. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/712

11. Несветаев, Г. В., Та В. Ф. Влияние белой сажи и метакаолина на прочность и деформационные свойства цементного камня // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1110

References

1. Yoon Y.G., Choi H., Oh T.K. ASTM C215 Appl. Sci., 10 (2020), p. 5464.
2. Wang Z., Gao Z., Wang Y., Cao Y., Wang G., Liu B., Wang Z. Constr. Build. Mater, 100 (2015), pp. 129-135.
3. Pacheco-Torgal F., Jalali S. Constr. Build. Mater, 24 (5) (2010), pp. 832-838.
4. Korsun V. I. Vliyanie klimaticheskikh uslovii Nedelya nauki ISI: Materiali vsrossiiskoi konferentsii v 3-kh chastyakh, Sankt-Peterburg, 26–30 aprelya 2021 goda. Inzhenerno-stroitel'nyi institut Sankt-Peterburgskogo politekhnicheskogo universiteta Petra Velikogo. Tom Chast 2. Sankt-Peterburg: Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie visshogo obrazovaniya "Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo", 2021. pp. 379-381.
5. Zhavoronkov M. I. Mezhdunarodnii zhurnal gumanitarnikh i yestestvennikh nauk. 2023. № 9-1(84). pp. 218-222.
6. Vodnev B. S., Gaag I. E. Izbrannie dokladi 65-i Yubileinoi universitetskoj nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodikh uchenikh: Sbornik dokladov, Tomsk, 25 aprelya 2019 goda. Tomsk: Tomskii gosudarstvennii arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2019. pp. 192-198.
7. Butakova M. D., Ziryaynov F. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/983
8. Yehia S., Abdelfatah A., Mansour D. Crystals, (2020), p. 625.
9. Mailyan D. R., Kurgin K. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2011. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/712
10. Varlamov, A. A. Aktualnie problemi sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniya. 2014. T. 2. S. 65-70.
11. Nesvetaev, G. V., Ta V. F. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. № 4-1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1110

Дата поступления: 15.01.2026

Дата публикации: 25.02.2026
