

О ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГАЗОБЕТОНА ОТ ЕГО КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА

ABOUT DEPENDENCE OF AERATED CONCRETE STRENGTH PROPERTIES ON ITS COMPONENT COMPOSITION

Д. Ф. Сакаева
Diana F. Sakaeva

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

А. И. Фархутдинова
Aygul I. Farhutdinova

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Г. У. Ярмухаметова
Gulnara U. Yarmuhametova

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Газобетон является популярным строительным материалом, в основе которого лежат следующие ингредиенты: вяжущее, заполнитель, вода и пустотообразователь. Преимуществами данного материала являются его простота и надежность в обработке и работе. Также важно отметить, что газобетон обладает хорошими звукоизоляционными и теплоизоляционными свойствами. В интересах дальнейшего распространения данного материала возникает необходимость в усовершенствовании его компонентного состава. Целью данной работы являлось выявление зависимости между прочностью газобетона и его компонентным составом с помощью математической модели. Были поставлены следующие задачи: на основе экспериментов определить прочность газобетонных образцов; с помощью множественной регрессионной модели вывести зависимость прочности газобетона от его компонентного состава; доказать адекватность аналитической зависимости между прочностью газобетона и его компонентным составом; провести расчеты, доказывающие достоверность полученной математической модели и применимость для прогнозирования свойств газобетона в зависимости от состава рецептуры. В ходе работы были определены физико-механические свойства лабораторных образцов газобетона различного компонентного состава путем сжатия на гидравлическом прессе. Все испытания были произведены в соответствии со стандартами СН 277-80 и ГОСТ 10180-2012. Было произведено восемь испытаний образцов на прочность. Взаимосвязь количественного состава смеси и его прочности была определена с помощью многофакторной регрессионной модели. В результате проведенной работы была построена корреляционно-регрессионная модель взаимосвязи прочностных характеристик и компонентного состава газобетона. Также была доказана адекватность полученной модели и ее параметров, показана применимость данной зависимости в оценке физико-механических свойств изучаемого объекта.

Aerated concrete is a popular building material, which is based on the following ingredients: binder, aggregate, water and void formers. The advantages of this material are its simplicity and reliability in processing and operation. It is also important to note that aerated concrete has good soundproofing and heat-insulating properties. In the interests of the further distribution of this material, there is a need to improve its component composition. The aim of this work was to identify the relationship between the strength of aerated concrete and its component composition using a mathematical model. The following tasks were set: on the basis of experiments to determine the strength of aerated concrete samples; using a multiple regression model, derive the dependence of the strength

Ключевые слова

газобетон; алюминиевая пудра;
известь; цемент; песок; гипс;
обратный шлам;
линейная регрессионная модель;
критерий Фишера

Key words

aerated concrete; aluminum powder;
lime; cement; sand; gypsum;
reverse sludge;
linear regression model;
Fisher criterion

of aerated concrete on its component composition; to prove the adequacy of the analytical relationship between the strength of aerated concrete and its component composition; to carry out calculations proving the reliability of the obtained mathematical model and applicability for predicting the properties of aerated concrete depending on the composition of the formulation. In the course of the work, the physicomaterial properties of laboratory samples of aerated concrete of various component compositions were determined by compression on a hydraulic press. All tests were carried out in accordance with the Building Codes 277-80 and State Standard 10180-2012. Eight strength tests of the samples were performed. The relationship between the quantitative composition of the mixture and its strength was determined using a multivariate regression model. As a result of the work, a correlation-regression model of the relationship of strength characteristics and component composition of aerated concrete was built. The adequacy of the obtained model and its parameters was also proved; the applicability of this dependence to the assessment of the physical and mechanical properties of the studied object was shown.

Введение

Газобетон является ячеистым бетоном, который наиболее легкий с большим количеством (до 85 % от общего объема бетона) мелких и средних пористых ячеек размерами до 1,0–1,5 мм; получают его посредством перемешивания смеси вяжущего составляющего, заполнителя, воды и пустотообразователя с дальнейшим формованием и твердением [1].

Газобетон обладает низкой теплопроводностью, что делает его энергосберегающим поризованным материалом, высокая технико-экономическая эффективность которого подтверждена отечественным и зарубежным опытом производства и применения [2].

Ячеистый бетон является конструкционно-теплоизоляционным материалом. Актуальностью данного вопроса является необходимость нахождения влияния компонентного состава на прочностные характеристики материала. Этого можно добиться путем тщательного подбора состава смеси, а также применения автоклавного твердения.

Изучением физико-механических свойств газобетона занимались следующие ученые: С.В. Леонтьев, В.А. Голубев, В.А. Шаманов, А.Д. Курзанов, Н.Н. Морозова, Г.В. Кузнецова, А.К. Голосов и др. В результате проведенных исследований выработаны основные принципы составления рецептуры газобетона, оценено влияние на физико-механические свойства при взаимосвязи количественного и качественного состава смеси.

Целью работы являлось выявление зависимости прочности газобетона от его компонентного состава с помощью математической модели.

В данной работе были поставлены следующие задачи:

- 1) на основе экспериментальных опытов определить прочность газобетонных образцов;
- 2) с помощью множественной регрессионной модели вывести зависимость прочности газобетона от его компонентного состава;
- 3) доказать адекватность аналитической зависимости между прочностью газобетона и его компонентным составом;
- 4) провести расчеты, доказывающие достоверность полученной математической модели и применимость для прогнозирования свойств газобетона в зависимости от состава рецептуры.

Объектом исследования является газобетон, в рецептуру газобетона входят цемент, микрокремнезем, вода, известь, полуводный гипс, песок, алюминиевая пудра. При введении в жидкую суспензию алюминиевой пудры начинается активное газообразование, благодаря чему в массе возникают поры. Их количество, размеры и форма определяются процентным соотношением компонентов и влияют на теплопроводность и плотность блоков [3].

Экспериментальная часть

Были произведены испытания газобетонных образцов по прочности на сжатие на гидравлическом прессе ПГМ-100МГ4 на базе предприятия ООО «ГлавБашСтрой».

Блок, прочность которого нужно определить, имеет размеры $1,5 \times 6,0 \times 0,5$ м. Образцы изготавливаются в поверенных формах, соответствующих требованиям ГОСТ 22685.

Перед использованием форм их внутренние поверхности должны быть покрыты тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов и не влияющей на свойства поверхностного слоя бетона. Формы заполняют бетонной смесью слоями высотой не более 100 мм. Каждый слой укладывают штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом. После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси в форме верхнюю поверхность образца заглаживают мастерком или пластинкой. Образцы в цилиндрических формах после заглаживания верхней поверхности закрывают крышками, кладут на боковую сторону и хранят в таком положении до распалубливания.

Образцы кубов, с размерами граней 10 мм, выпиливаются без увлажнения, отступив от граней изделия или блока не менее 20 мм. Непосредственно после изготовления образцов на них должна быть нанесена маркировка. Маркировка не должна повреждать образец или влиять на результаты испытания.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде сколов ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм, испытанию не подлежат. Перед установкой образца на пресс или испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах пресса. При испытании на сжатие образцы-кубы и цилиндры устанавливают одной из выбранных граней на нижнюю опор-

ную плиту пресса (или испытательной машины) центрально относительно его продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту пресса, дополнительные стальные плиты или специальное центрирующее устройство. Образцы-половинки призм при испытании на сжатие помещают между двумя дополнительными стальными плитами.

Дополнительные плиты центрируют относительно оси пресса, используя риски, нанесенные на плиту пресса и дополнительные стальные плиты, или специальное центрирующее устройство. Далее применяют нагружение и максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку и записывают его в журнал испытаний [4]. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

В данной работе рассмотрена взаимосвязь количественного состава смеси и его прочности в виде многофакторной регрессионной модели. Корреляционно-регрессионный анализ широко применяется не только в строительстве, экономике, экологии, а также в исследовании биологических жидкостей и многокомпонентных углеводородных систем [5–8]. Для анализа данных опытов испытания газобетонных образцов рассмотрена линейная регрессионная модель вида:

$$R = a_1 \cdot M_{ал} + a_2 \cdot M_{из} + a_3 \cdot M_{ц} + a_4 \cdot M_{п} + a_5 \cdot M_{г} + a_6 \cdot M_{о.ш.}, \quad (1)$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ — коэффициенты зависимости (1), МПа/г.

С помощью инструмента регрессия в MS Excel получили результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 1. Количественный состав смеси газобетона и результаты испытания образцов на прочность

№ опыта	$M_{ал}$, г	$M_{из}$, г	$M_{ц}$, г	$M_{п}$, г	$M_{г}$, г	$M_{о.ш.}$, г	R, МПа
1	0,512	42,68	111,55	204,670	9,70	92,150	3,17
2	0,476	43,65	116,40	200,790	7,76	92,150	2,86
3	0,494	36,86	111,55	192,060	28,13	92,150	2,78
4	0,503	49,47	119,31	201,275	7,76	82,935	2,86
5	0,512	35,89	116,40	217,765	7,76	82,935	2,93
6	0,512	59,17	111,55	188,180	9,70	92,150	3,26
7	0,485	42,68	116,40	187,938	7,76	105,972	3,16
8	0,512	51,41	116,40	191,090	9,70	92,150	2,75

Примечания: $M_{ал}$ — масса алюминия в составе, г; $M_{из}$ — масса извести в составе, г; $M_{ц}$ — масса цемента в составе, г; $M_{п}$ — масса песка в составе, г; $M_{г}$ — масса гипса в составе, г; $M_{о.ш.}$ — масса обратного шлама в составе, г; R — прочность газобетона, МПа.

Таблица 2. Результаты регрессионного анализа

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	R	F
0,556	0,018	-0,034	0,018	0,005	0,026	0,99	336

Примечания: R — коэффициент множественной корреляции; F — критерий Фишера.

По результатам, представленным в таблице 2, можно утверждать, что построенная зависимость адекватна с вероятностью 0,95 для всех исследуемых образцов. Так, коэффициент множественной корреляции равен 0,99, а критерий Фишера — 336, что значительно больше табличного значения. Табличное значение $F_{\text{табл}}=0,028$. Иными словами, уравнение

является статически значимым, достоверным, надежным.

Кроме того, выполнено сравнение качественных показателей восьми образцов газобетона, полученных экспериментальным способом и предлагаемым. Результаты, представленные в таблице 3, указывают на то, что предложенный метод не уступает в точности экспериментальному.

Таблица 3. Результаты расчета на сжатие по зависимости (1)

$R_{\text{сж. расч}}$, кН	$R_{\text{сж. эксп}}$, кН	Относительная ошибка	Абсолютная ошибка
3,189	3,170	0,006	-0,019
2,959	2,860	0,035	-0,099
2,767	2,780	0,005	0,013
2,750	2,860	0,038	0,110
2,908	2,930	0,008	0,022
3,188	3,260	0,002	0,072
3,072	3,160	0,028	0,088
2,935	2,750	0,067	-0,185

Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) газобетон применяется в различных областях для возведения зданий и сооружений благодаря низкой теплопроводности и достаточно высокой пористости;
- 2) доказана адекватность аналитической зависимости прочности газобетона от его компонентного состава;
- 3) полученная зависимость дает возможность прогнозировать прочность газобетона с

достоверностью 95 %, не прибегая к трудоемким лабораторным испытаниям;

- 4) проведенные расчеты доказали достоверность полученной математической модели и применимость для прогнозирования свойств газобетона в зависимости от состава рецептуры.

Полученные данные могут представлять практический интерес в плане целенаправленной разработки газобетона с регулируемыми физико-механическими свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шорстов Р.А. Регулирование технологических и рецептурных параметров на основе моделирования физико-механических свойств автоклавного газобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 36–41. DOI: 10.34031/article_5ce292c52da5c9.83158267.
2. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3. С. 10–20.
3. СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. М.: Госстрой России, 2001. 44 с.
4. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с.
5. Гладков Д.И., Сулейманова Л.А., Калашников А.В. Новая технология ячеистобетонных изделий // Строительные материалы. 1999. № 7. 26–27 с.
6. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. Структурообразование и разрушение це-

ментных бетонов. Уфа: Уфимский полиграфкомбинат, 2002. 376 с.

7. Кудряшев И.Т., Куприянов В.П. Ячеистые бетоны: виды, свойства и применение. М.: Госстройиздат, 1959. 90 с.
8. Темукуева Ж.Х. Корреляционно-регрессионный анализ как индикатор отбора показателей при проведении факторного экономического анализа // Проблемы современной науки и образования. 2016. № 19. С. 67–69.

REFERENCES

1. Shorstov R.A. Regulirovanie tekhnologicheskikh i retsepturnykh parametrov na osnove modelirovaniya fiziko-mekhanicheskikh svoistv avtoklavnogo gazobetona [Regulation of Process and Recipe Parameters on the Basis of Modeling Physical and Mechanical Properties of Autoclaved Aerated Concrete]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta imeni V.G. Shukhova — Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*, 2019, No. 5, pp. 36–41. DOI: 10.34031/article_5ce292c52da5c9.83158267 [in Russian].
2. Lesovik V.S., Suleimanova L.A., Kara K.A. Energo-effektivnye gazobetony na kompozitsionnykh vyazhushchikh dlya monolitnogo stroitel'stva [Energy-Efficient

Aerated Concrete on Composite Binders for Monolithic Construction]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo — News of Higher Educational Institutions. Construction*, 2012, No. 3, pp. 10–20. [in Russian].

3. SN 277-80. *Instruktsiya po izgotovleniyu izdelii iz yacheistogo betona* [SN 277-80. Instruction for the Manufacture of Cellular Concrete Products]. Moscow, Gosstroii Publ., 2001. 44 p. [in Russian].

4. GOST 10180-2012. *Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nykh obraztsam* [State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for Strength Determination Using Reference Specimens]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 36 p. [in Russian].

5. Gladkov D.I., Suleimanova L.A., Kalashnikov A.B. *Novaya tekhnologiya yacheistobetonnykh izdelii* [New Technology of Cellular Concrete Products]. *Stroitel'nye materialy — Stroitel'nye Materialy*, 1999, No. 7, 26–27 p. [in Russian].

6. Babkov V.V., Mokhov V.N., Kapitonov S.M., Komokhov P.G. *Strukturoobrazovanie i razrushenie tsementnykh betonov* [Structuring and Destruction of Cement Concrete]. Ufa, Ufimskii poligrafkombinat Publ., 2002. 376 p. [in Russian].

7. Kudryashev I.T., Kupriyanov V.P. *Yacheistye betony: vidy, svoistva i primeneniye* [Aerated Concrete: Types, Properties and Applications]. Moscow, Gosstroizdat Publ., 1959. 90 p. [in Russian].

8. Temukueva Zh.Kh. *Korrelyatsionno-regressionnyi analiz kak indikator otbora pokazatelei pri provedenii faktornogo ekonomicheskogo analiza* [Regression Analysis as an Indicator of Selection Indices during Factorial Economic Analysis]. *Problemy sovremennoi nauki i obrazovaniya — Problems of Modern Science and Education*, 2016, No. 19, pp. 67–69. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Сакаева Диана Финатовна, магистрант кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Diana F. Sakaeva, Undergraduate Student of Applied and Natural Sciences Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: diana-sakaeva@mail.ru

Фархутдинова Айгуль Ильхамовна, магистрант кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aygul I. Farhutdinova, Undergraduate Student of Applied and Natural Sciences Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: farhutdinovai@mail.ru

Ярмухаметова Гульнара Ульфатовна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Gulnara U. Yarmuhametova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Applied and Natural Sciences Department, USPTU, Ufa, Russian Federation.

e-mail: gulnara.ulfatovna@mail.ru