

УДК 691.32

СПЕЦІАЛЬНІ БЕТОНИ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БУДІВНИЦТВА

SPECIAL CONCRETE FOR ENERGY CONSTRUCTION

Шейніч Л.О., д.т.н., проф., ORCID: 0000-0002-7684-9495,

Миколаєць М.Г., к.т.н., ORCID: 0000-0002-8823-3401,

Крилов Є.О., ORCID ID: 0000-0001-7944-2132,

Мудрик М.С., ORCID ID: 0000-0001-7391-7723.

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ

Sheinich L., Doctor of Technical Sciences, Professor,

ORCID: 0000-0002-7684-9495,

Mykolaiets M., PhD, Head of Laboratory, ORCID: 0000-0002-8823-3401,

Krylov E., ORCID ID: 0000-0001-7944-2132,

Mudryk M., ORCID ID: 0000-0001-7391-7723.

Department of Reinforced Concrete Structure Manufacturing Technology State Enterprise "State Research Institute of Building Construction, Kyiv

Проведено аналіз сировинних матеріалів вітчизняного виробництва для виготовлення спеціальних бетонів із середньою густиною понад 2500 кг/м³. Визначено фізичні та фізико-механічні характеристики відібраної сировини для наведених бетонів. Розроблені рецептури спеціального бетону для енергетичного будівництва з підвищеною середньою густиною.

This paper consider the analysis of raw materials available in the market of Ukraine for production of special concretes for energy construction with an average density of more than 2500 kg / m³. The main criteria to obtain the concrete were increased heat resistance, high radiation resistance and average density. Concretes were obtained from the mixture with a cone sediment of 2.5-8.0 cm and cement of the second type with a maximum heat release up to 290 kJ / kg on the 7th day, a concrete strength being not less than 28 MPa on the 28th day and with a C₃A content of not more than 8 %, the maximum content of the sum of C₃S + C₃A should not exceed 58%, the maximum content of alkalis in terms of Na₂O should not exceed 0.6%. The most suitable filler that has a higher average density is basalt chipping. The maximum operating temperature of concrete with aggregate of basalt deposit is 300 °C. Physical and physical and mechanical characteristics of raw materials are determined. The advantages of some raw materials in comparison with the

other ones are established. Recipes of special concretes with the use of raw materials such as basalt chipping, granite crushed stone, river sand, natural sand, iron ore concentrate, colloidal silica, fly ash have been developed in different combinations and proportions. Several recipes of special concrete with high average density from 2545 to 2655 kg / m³ and compressive strength from 54.6 MPa to 70,6 MPa have been developed. As a result of the research, the concrete composition was selected so that the established requirements such as average density from 2545 to 2655 kg / m³ and compressive strength of 54.6 MPa were most fully met

Ключові слова: Базальт, бетон, густина, добавка, заповнювач, спеціальний, термостійкість.

Basalt, concrete, density, additive, aggregate, special, heat resistance.

Вступ. Широке використання атомної енергетики, розвиток радіохімічних виробничих потужностей, будівництво котелень, повітроводів і т.п. створюють необхідність розробки ефективних радіаційно захисних і термостійких матеріалів. Такими матеріалами можуть бути спеціальні бетони, що виготовляються на основі сировини вітчизняного виробництва.

Аналіз джерел. Згідно з роботами Шейніча Л.О., Плугіна А.Н. [1, 2], а також згідно з даними [3-5] спеціальні бетони для енергетичного будівництва, отримані за традиційними технологіями на основі рядових портландцементів та заповнювачів характеризуються не достатньо високими спеціальними властивостями. Спеціальні бетони повинні мати високий вміст хімічно зв'язаної води при температурах 300-500 °С, характеризуватися підвищеною термостійкістю та меншою усадочною деформацією.

В наукових дослідженнях, при підборі складу бетону, були використані положення, що розроблені професором Дворкіним Л.І. [6, 7].

Мета та задачі досліджень. Основною задачею досліджень було виготовлення бетону зі спеціальними властивостями, на основі сировини українського виробництва, який би був термічно- та радіаційно стійким.

Методика та результати досліджень. При проектуванні складу бетону необхідно було дотримуватись наступних технічних характеристик:

- Середня густина - більше 2500 кг/м³,
- Міцність при стиску - не менше 32 МПа,
- Застосування цементу другого типу з максимальним тепловиділенням 290 кДж/кг на 7-му добу і міцністю не менше 28 МПа на 28 добу тверднення. Вміст С₃А - не більше 8%, максимальний вміст суми мінералів С₃S+С₃А не повинен перевищувати 58%. Максимальний вміст лугів в перерахунку на Na₂O не більше 0,6%.

- В якості заповнювачів можуть використовуватися вапняк, мармур, базальт, граніт, габро або ріоліт.

- Рухливість бетонної суміші - від 2,5 до 8,0 см.
- Максимальне значення водоцементного відношення - 0,5.
- Вода для приготування бетонної суміші повинна задовольняти [8].

Згідно [9, 10] максимальна середня густина звичайних важких бетонів складає 2500 кг/м^3 . Для отримання зазначених бетонів, зазвичай, використовують в якості заповнювача щебінь гранітний та пісок кварцовий. Середня густина такого щебеню коливається від 1400 до 1470 кг/м^3 , а істинна густина складає приблизно $2,60 \text{ г/см}^3$. Відповідні характеристики піску - ($1500-1600$) кг/м^3 та $2,61 \text{ г/см}^3$. Такі показники щебеню гранітного і піску кварцового дозволяють отримати практично граничні значення бетону за густиною - до 2500 кг/м^3 . Допустимий інтервал коливання середньої густини звичайного важкого бетону, згідно [9], знаходиться в межах ($2483-2500$) кг/м^3 . Таким чином, допускається коливання середньої густини бетону $\pm 8,5 \text{ кг/м}^3$. Зазначене обмеження коливання середньої густини менше точності дозування сировинних матеріалів. Тому, для отримання спеціальних бетонів необхідно використовувати більш важкі заповнювачі.

Найбільш придатним заповнювачем, що має вищу середню густина є базальтовий щебінь. Інші заповнювачі, застосування яких не суперечить вихідним даним, мають меншу густина або в промислових масштабах в Україні не виготовляються. Базальтовий щебінь і пісок в промислових масштабах виготовляється на ПрАТ «Івано-Долинський спецкар'єр». Середня насипна густина складає 1250 кг/м^3 , істинна - $2,85 \text{ г/см}^3$. Лещадність зерен щебеню - 35 %. Марка щебеню за міцністю - 1200.

Середня густина шматків породи або зерен базальтового щебеню складає 2800 кг/м^3 , що на 10 % вище, ніж густина гранітного щебеню. Це дозволило отримати бетони із середньою густиною більше 2500 кг/м^3 . На ПрАТ «Івано-Долинський спецкар'єр» виробляють базальтові заповнювачі наступних фракцій: 0,1-1,2 мм; 1,2-2,5 мм; 2,5-5 мм; 5-20 мм; 20-40 мм. Наведені показники середньої густини бетону і фракційного складу заповнювачів задовольняють вимогам вихідних даних. В якості дрібного заповнювача запропоновано пісок природний виробництва ПрАТ «Микитівський гранітний кар'єр», який відповідає вимогам згідно [11]. Для регулювання гранулометричного складу дрібного заповнювача можливе застосування піску річкового Дніпровського. Для регулювання і підвищення значення середньої густини бетону можливе введення в його склад невеликої кількості залізрудних матеріалів, що мають досить високу істинну густина до 7000 кг/м^3 , наприклад, залізрудний концентрат згідно [12].

Максимальна температура застосування бетонів на заповнювачах базальтового родовища складає 300°C згідно [13].

Заповнювачі, що застосовуються в рецептурі, мають відповідати вимогам стандарту і не містити у своєму складі пиловидних та глинистих часток, а також глини у грудках згідно [14].

Для виготовлення спеціальних бетонів проаналізували можливість застосування портландцементу нормованого складу ПЦ І М500, згідно [15], виробництва ТОВ «Волинь-цемент». Вибір вищенаведеного портландцементу зумовлений тим, що такий цемент має найнижче тепловиділення серед портландцементів інших виробників [16]. Величина тепловиділення на 7-му добу складає 167 кДж/кг. В той же час цей цемент не може бути використаний, оскільки сума мінералів цементного клінкеру C_3S+C_2S перевищує 58%. Оскільки бездобавочні портландцементи нижчих марок в Україні не виробляються, тому в подальших дослідженнях використовували цементи із додаванням доменного шлаку – цемент М400 типу ПЦ ІІ/А-Ш [15]. Характеристики портландцементу марки ПЦ ІІ/А-Ш М400 наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики ПЦ ІІ/А-Ш М400

Назва показників	Одиниця виміру	Нормативні вимоги ДСТУ Б В.2.7-46	Фактичне значення
ПЦ ІІ / А – Ш – 400 Р - Н			
Нормальна густина цементного тіста (НГЦТ)	%	23-28	25,0
Істинна густина	г/см ³	3,0-3,2	3,0
Терміни тужавлення:			
- початок	хвилин	не раніше 60 хв.	110
- закінчення	хвилин	не пізніше 10 год	140
Міцність при стиску на 2 добу	МПа	15,0	21,7
Міцність при стиску на 7 добу		---	33,0
Міцність при стиску на 28 добу		40,0	43,5
Міцність при згині на 28 добу	МПа	---	4,2

Підбір складу спеціальних бетонів.

При моделюванні складів бетонів керувались наступними принципами:

1. Для зменшення тепловиділення бетонної суміші в ранні терміни тверднення та підвищення корозійної стійкості бетону передбачено можливість застосування золи-винесення ТЕС, згідно [16].

2. Бетон повинен мати міцність при стиску при випробуванні зразків-кубів не менше 32 МПа.

3. Заповнювачі повинні відповідати вимогам [4, 11]. У випадку перевищення в них вмісту глинистих або пилюватих часток, їх необхідно промивати.

4. Дозування сировинних компонентів бетонної суміші виконувати за масою з похибкою: в'язуче, вода, робочий розчин рідкої хімічної добавки

$\pm 1\%$, заповнювач $\pm 2\%$. У випадку застосування вологих заповнювачів необхідно враховувати у них вміст води.

5. Послідовність завантаження компонентів бетонної суміші при працюючому бетонозмішувачі – 10 % щебеню, 10 % води від встановленої кількості. Потім завантажуються пісок, цемент, зола-винесення, за потреби залізорудний концентрат. Після цього завантажується решта води, щебеню, хімічні добавки. Тривалість перемішування – 2 хвилини до отримання однорідної маси.

6. Після перемішування та отримання однорідної бетонної суміші її марка за легкоукладальністю має бути P1 - P2 згідно [18].

7. Життєздатність бетонної суміші повинна бути не менше 1,0 год.

Підбір складу радіаційно-захисного бетону почали із застосуванням гранітного щебеню фракції 5-10 та 10-20 та піску річкового з модулем крупності 1,33. Цей склад в подальших дослідженнях був контрольним.

Для збільшення середньої густини бетону був використаний щебінь базальтовий крупної фракції 20-40 мм та пісок з модулем крупності 2,51 (ПрАТ «Микитівський гранітний кар'єр»). Отримана бетонна суміш із застосуванням базальтового щебеню фракції 20-40 мм погано ущільнювалася, але отриманий бетон мав більшу середню густину, ніж на гранітному щебені. Бетонна суміш характеризувалася неоднорідністю та поганою легкоукладальністю. Тому від складу бетону, на базальтовому щебені з додаванням фракції 20-40 мм, в подальших дослідженнях відмовилися. А пісок природний з модулем крупності 2,51 замінили на пісок річковий з модулем крупності 1,33.

Криву розсіву оптимальної суміші заповнювачів наведено на рисунку 1.

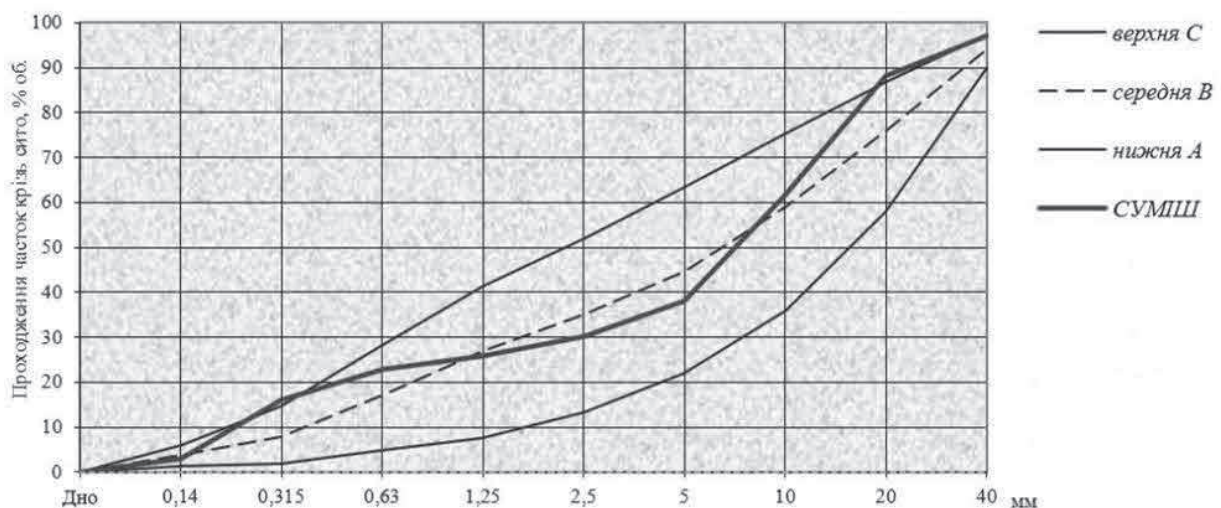


Рис.1. Крива розсіву суміші заповнювачів

Для зміни характеристик бетонної суміші та бетону вводили інші складові: хімічні добавки-пластифікатори на основі лігносульфонату та полікарбоксилатів, колоїдний кремнезем, зола-винесення ТЕС (м. Ладижин), залізорудний концентрат виробництва ПрАТ «Північний гірничо-

збагачувальний комбінат» істинна густина - 3183 кг/м³, масова доля оксиду заліза 25,3 %; ПрАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» істинна густина - 4421 кг/м³, вміст Fe₂O₃ - 63,87 %.

Для подальших досліджень залізорудний концентрат ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» виявився некондиційним через високий вміст пилюватих та глинистих часток та глини у грудках. Тому було обрано матеріал ПрАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат». Однак додавання залізорудного матеріалу зменшує міцність бетону, що потрібно враховувати при підборі складу бетону.

У різних поєднаннях ці компоненти покращували одні властивості бетону і бетонної суміші та погіршували інші. Тому важливою задачею було відшукати необхідні пропорції при яких би зростала середня густина, легкоукладальність, зменшувалась розшаровуваність бетонної суміші і не зменшувалась міцність бетону.

В результаті досліджень було підібрано склад бетону який найбільше відповідав вищезазначеним умовам, що наведений в таблиці 2.

Таблиця 2

Запропонований склад спеціального бетону

Склад бетону №	Цемент, кг/м ³	Пісок М _{кр} 1,33, кг/м ³	Щебінь, кг/м ³	
			2,5-5 мм	5-20 мм
1	360	575	320	1180

Підібраний склад дозволяє отримати бетон з середньою густиною 2594 кг/м³ і міцністю на стиск 70,6 МПа. При цьому осадка стандартного конуса бетонної суміші становить 3 см.

Графік розігріву бетону при твердненні, визначеного згідно [19], наведено на рисунку 2.

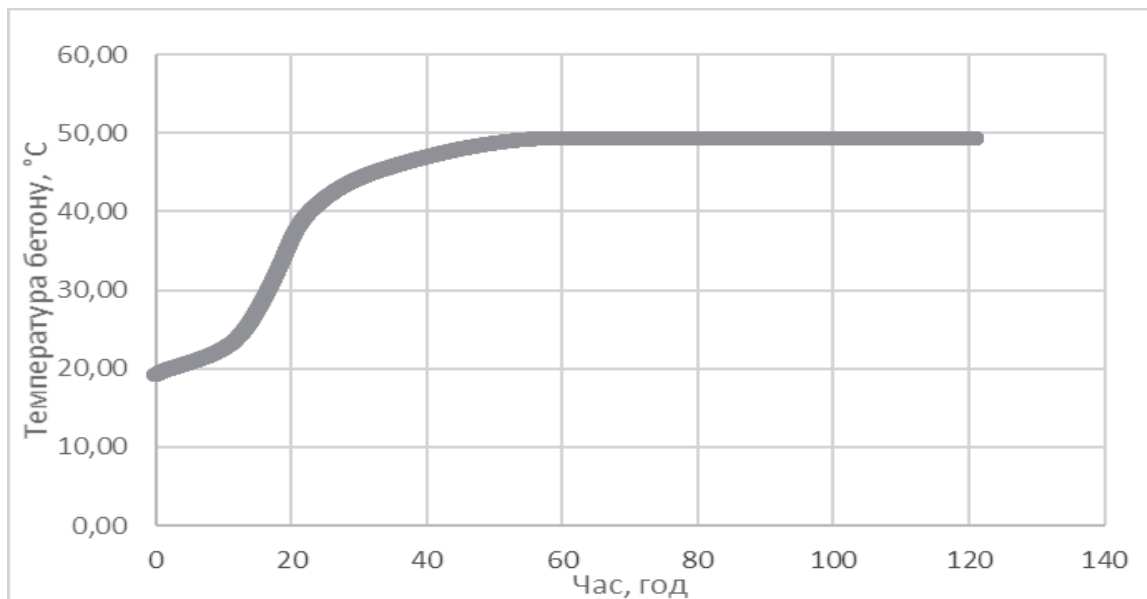


Рис.2. Температура розігріву бетону

Висновки. 1. Проведено аналіз сировинних матеріалів вітчизняного виробництва. Так, портландцемент М500 з низькою екзотерією при твердненні не може бути використаний в складі спеціального бетону для енергетичного будівництва, оскільки сума мінералів аліту і алюмінату кальція (C_3S+C_3A) перевищує 58%. Бездобавочні цементни марок в Україні не виробляються. Тому, в подальших дослідженнях передбачається використання цементу з додаванням доменного шлаку, що відповідає марці ПЦІІ/А-Ш-400Р-Н (швидкотвердіючий із нормованим мінералогічним складом).

2. Розроблені рецептури спеціального бетону з підвищеною середньою густиною від 2545 до 2655 кг/м³ і міцністю на стиск від 54,6 МПа.

1. Шейнич Л.А., Анопко Д.В. Радиационнозащитные безусадочные мелкозернистые бетоны на чугуновых заполнителях. Киев, 2011. 193 с.
2. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А. Структура и долговременные свойства бетона.// Строительные материалы и изделия, №4, 2003. с. 17-22.
3. Барсуков О.А., Эльяшевич М.А. Основы атомной физики. – М., 2006. 647 с.
4. Бродер Д.Л., Зайцев Л.Н., Комочков М.М. Бетон в защите ядерных установок. – М., 1966. 214 с.
5. Дубровский В.Б. Радиационная стойкость строительных материалов. – М., 1977. 278 с.
6. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. Санкт-Петербург, 2006. 691 с.
7. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013 Настанова щодо визначення складу важкого бетону. Київ, 2013.
8. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови (ГОСТ 23732-79, MOD). Київ, 2011.
9. ДСТУ Б В.2.7-43-96 Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови. Київ, 1996.
10. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б. та ін. Будівельне матеріалознавство. – К.: Основа, 2007. 697 с.
11. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Київ, 1995.
12. ДСТУ 3704:2013 Продукція залізорудна. Загальні технічні умови. Київ, 2014.
13. НИИЖБ Руководство по возведению тепловых агрегатов из жаростойкого бетона. – М., 1983. 65с.
14. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. Київ, 1998.
15. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загально-будівельного призначення. Технічні умови. Київ, 2011.
16. СЕПРОЦЕМ. Отчет по оценке строительно-технических свойств цементов. Харьков, 2018. 22 с.
17. ДСТУ Б В.2.7-205:2009 Будівельні матеріали. Золи-виносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови. Київ, 2010.
18. ДСТУ Б В.2.7-96-2000 (ГОСТ 7473-94) Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Технічні умови. Київ, 2000.

19. ДСТУ Б В.2.7-225:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Метод визначення тепловиділення при твердненні. Київ, 2009.

- 1.** Sheinich L.A., Anopko D.V., Radiatsionnozashchitnye bezusadochnye melkozernistye betony na chugunnykh zapolnitelyakh. Kyiv, 2011. 193 s.
- 2.** Plugin A.N., Plugin A.A., Kalinin O.A. Struktura i dolgovremennye svoystva betona. Stroitelnye materialy i izdeliya, №4, 2003. ss. 17-22.
- 3.** Barsukov O.A., Elyashevich M.A., Osnovy atomnoy fiziki. – M., 2006. 647 s.
- 4.** Broder D.L., Zaytsev L.N., Komochkov M.M., Beton v zashchite yadernykh ustanovok. – M., 1966. 214 s.
- 5.** Dubrovskiy V.B., Radiatsionnaya stoykost' stroitelnykh materialov. – M., 1977. 278 s.
- 6.** Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Osnovy betonovedeniya. Sankt-Peterburg, 2006. 691 s.
- 7.** DSTU-N B V.2.7-299:2013 Nastsnova shchodo vyznachennya skladu vazhкого бетону. Kyiv, 2013
- 8.** DSTU B V.2.7-273:2011 Voda dlya betoniv i rozchyniv. Tekhnichni umovy (GOST 23732-79, MOD). Kyiv, 2011
- 9.** DSTU B V.2.7-43-96 Budivelni materialy. Betony vazhki. Tekhnichni umovy. Kyiv, 1996
- 10.** Krivenko P.V., Pushkar'ova K.K., Baranovskiy V.B., i in. Budivel'ne materialoznavstvo. – K.: Osnova, 2007. 697 s.
- 11.** DSTU B V.2.7-32-95 Budivelni materialy. Pisok shchilnyy pryrodnyy dlya budivelnikh materialiv, vyrobiv, konstruktsiy i robit. Tekhnichni umovy. Kyiv, 1995
- 12.** DSTU 3704:2013 Produktsiya zalizorudna. Zagalni tekhnichni umovy. Kyiv, 2014
- 13.** NII ZHB Rukovodstvo po vozvedeniyu teplovykh agregatov iz zharostoykogo betona. – M., 1983. 65 s.
- 14.** DSTU B V.2.7-75-98 Budivelni materialy. Shchebin' ta graviy shchil'ni pryrodni dlya budivelnikh materialiv, vyrobiv, konstruktsiy i robit. Tekhnichni umovy. Kyiv, 1998
- 15.** DSTU B V.2.7-46:2010 Budivelni materialy. Tsementy zagal'no-budivelnogo pryznachennya. Tekhnichni umovy. Kyiv, 2011
- 16.** SEPROTSEM. Otch'ot po otsenke stroitelno-tekhnicheskikh svoystv cementov. Khar'kov, 2018. 22 s.
- 17.** DSTU B V.2.7-205:2009 Budivelni materialy. Zoly-vynosu teplovykh elektrostanciy dlya betoniv. Tekhnichni umovy. Kyiv, 2010
- 18.** DSTU B V.2.7-96-2000 (GOST 7473-94) Budivelni materialy. Sumishi betonni. Tekhnichni umovy. Kyiv, 2000
- 19.** DSTU B V.2.7-225:2009 Budivelni materialy. Betony. Metod vyznachennya teplovidilennya pry tverdnenni. Kyiv, 2009