

УДК 691.327.32

Мішутін А.В. д-р техн. наук, Кровяков С.О. к-т техн. наук, Полторапавлов А.О.

ЗАСТОСУВАННЯ ПОРИСТИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ У БЕТОНАХ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Анотація. Досліджені бетони для транспортних споруд з застосуванням щебеню зі щільних вапняків і керамзиту. Порівняно властивості бетонів і фібробетонів на вапняковому і гранітному щебені. Досліджено властивості бетонів, модифікованих суперпластифікатором С-3 і мікрокремнеземом. Проведено порівняння властивостей бетонів, виготовлених за традиційною технологією та з попередньою обробкою пористого щебеню цементної суспензією. Встановлено, що найбільшу міцність мають бетони при кількості мікрокремнезему близько 30 кг/м^3 і добавки С-3 від 0.8 до 0.9%. Попередня обробка пористого щебеню підвищує міцність бетону при стиску в середньому на 5 МПа.

Об'єкт дослідження – бетони на пористих заповнювачах для транспортних споруд.

Мета роботи – підвищення механічних властивостей бетонів для транспортних споруд на щебені зі щільних вапняків і керамзиті за рахунок застосування модифікаторів і попередньої обробки пористого заповнювача.

Методи дослідження – планування експерименту, експериментально-статистичне моделювання, стандартні методики визначення властивостей бетону.

Ключові слова: карбонатний щебінь, керамзит, попередня обробка заповнювача, мікрокремнезем, суперпластифікатор, транспортні споруди.

UDC 691.327.32

Mishutin A.V., Doctor of science, Kroviakov S.O., PhD., Poltorapavlov A.O.

THE USE OF POROUS FILLERS IN CONCRETE FOR TRANSPORT STRUCTURES

Abstract. Concretes for transport structures were investigated. Rubble from a dense limestone and expanded clay aggregate was used for the concrete. Comparison of the properties concrete and fiber-reinforced concrete with limestone and granite rubble was conducted. Concretes were modified superplasticizer S-3 and silica fume. It was comparing the properties of concrete prepared by different technologies. One batch of concrete was made by traditional technology, the other batch was made with pretreatment of the cement slurry of porous rubble. It has been found that concretes have the greatest strength when the content of silica fume about 30 kg/m^3 and superplasticizer S-3 from 0.8 to 0.9%. Pretreatment porous rubble increases the compressive strength of concrete average on 5 MPa.

The object of study – concrete on porous fillers for transport structures.

Purpose – improving the mechanical properties of concrete for transport structures in the rubble of dense limestone and expanded clay aggregate through the use of modifiers and pretreatment of the porous filler.

Research methods – design of experiment, experimental-statistical modeling, the standard methods of determining the concrete properties.

Keywords: carbonate gravel, expanded clay aggregate, pretreatment of aggregate, silica fume, superplasticizer, transport structures.

УДК 691.327.32

Мишутин А.В. д-р техн. наук, Кровяков С.А. к-т техн. наук, Полторапавлов А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ В БЕТОНАХ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Исследованы бетоны для транспортных сооружений с использованием щебня из плотных известняков и керамзита. Проведено сравнение свойств бетонов и фибробетонов на известняковом и гранитном щебне. Исследованы свойства бетонов, модифицированных суперпластификатором С-3 и микрокремнеземом. Проведено сравнение свойств бетонов, изготовленных по традиционной технологии и с предварительной обработкой пористого щебня цементной суспензией. Установлено, что наибольшую прочность имеют бетоны при количестве микрокремнезема около 30 кг/м^3 и добавки С-3 от 0.8 до 0.9%. Предварительная обработка пористого щебня повышает прочность бетона при сжатии в среднем на 5 МПа.

Объект исследования – бетон на пористых заполнителях для транспортных сооружений.

Цель работы – повышение механических свойств бетонов для транспортных сооружений на щебне из плотных известняков и керамзите за счет применения модификаторов и предварительной обработки пористого заполнителя.

Методы исследования – планирование эксперимента, экспериментально-статистическое моделирование, стандартные методики определения свойств бетона.

Ключевые слова: карбонатный щебень, керамзит, предварительная обработка заполнителя, микрокремнезем, суперпластификатор, транспортные сооружения.

Постановка проблеми

Для конструцій транспортних споруд, зокрема водопропускних, сьогодні найчастіше використовується бетон на гранітному щебені. Проте в південних і деяких інших регіонах України ефективнішим можна вважати застосування бетонів на місцевих природних і штучних пористих заповнювачах. Наприклад, в Одеській області виробляється керамзити і багато покладів вапняків, серед яких є і досить щільні. Такі заповнювачі можуть бути застосовані у транспортному будівництві. Бетони на вапняковому щебені мають порівняно низьку вартість при достатній конструкційній міцності. Відомо, що бетони на карбонатних заповнювачах або керамзитобетони мають досить високу міцність порівняно з міцністю власне заповнювача. Позитивний вплив пористих заповнювачів частіше всього пояснюється процесами самовакуумування його зерен [1]. Вони відіграють роль своєрідних «насосів», які забирають воду з цементного тіста, в результаті чого розчинна складова бетону ущільнюється. При подальшому твердінні волога, що акумульована зернами заповнювача, знову віддається з заповнювача і покращує процес гідратації цементу. Завдяки

Formulation of the problem

Concrete on a granite gravel used for construction of transport structures (for example, culverts pipes) more often. However, the use of concrete on the local natural and artificial porous aggregates effectively in the south and other Ukraine regions. In the Odessa region is made expanded clay and limestone deposits there. There is also a dense limestone in the region. Expanded clay and limestone may be used in transport engineering. Concrete on limestone rubble has a relatively low cost and sufficient strength.

It is known that the expanded clay concrete and concrete on calcareous rubble have strength higher than the strength of expanded clay or limestone. The positive effect of porous fillers often explains the process of self-vacuuming [1]. They perform the function of "pumps" that take water from the cement paste. As a result of the porous filler is compacted cement paste. Moisture that has been accumulated filler grains, again given in the cement paste later. This moisture from the filler improves the cement hydration process. The concrete on the

самовакумуванню бетон на пористому заповнювачі в порівнянні в бетоном на гранітному щебені також менш схильний до седиментаційних процесів. За даними [2] самовакумування також підвищує хімічну стійкість бетонів, завдяки чому для конструкцій, підданих агресивного впливу, рекомендується застосовувати заповнювачі з великим капілярним водопоглинанням. У роботі [3] при використанні низькоміцних вапняків і витраті цементу від 250 до 450 кг/м³ були отримані бетони з міцністю при стиску 25-45 МПа при водостійкості 0.98-1.0.

Сьогодні фактично майже весь бетон є модифікованим в тій або іншій спосіб. У транспортному будівництві широко використовуються фібробетони, тому дослідження ефективності введення дисперсної арматури у бетон на вапняковому наповнювачі є актуальним.

Також вельми перспективним напрямком у технології композитів на основі цементу є застосування мікрокремнезему в якості активної мінеральної добавки [4]. Цей модифікатор покращує структуру за рахунок хімічної активності і ефекту «мікронаповнювача», сприяє ущільненню, зменшенню кількості мікродфектів і веде до підвищення міцності, зниження проникності та збільшення довговічності бетону. Проте застосування мікрокремнезему вимагає підвищення В/Ц суміші, через що його ефективне застосування можливо лише в комплексі з суперпластифікатором [5]. Тобто актуальною є задача дослідження модифікованих мікрокремнеземом і суперпластифікатором бетонів на вапняковому щебені.

Методика досліджень

У попередніх дослідженнях застосовувався керамзитовий гравій Одеського керамзитового заводу фракції 5-10 мм з насипною щільністю гравію 655 кг/м³. У даних дослідженнях застосовувався вапняковий щебень Великодолинського кар'єру (Одеська область) фракції 5-20 мм з насипною щільністю 1200 кг/м³, кварцовий пісок з Мкр=2.6 та портландцемент М400. Для порівняння властивостей бетонів на вапняковому та

porous filler is less prone to sedimentation than concrete to granite rubble. This is due to self-vacuinating too. According to [2], self-vacuinating also increases the chemical resistance of concrete. For this reason, in an aggressive environment for constructions concrete recommended fillers with large capillary water absorption. In [3] concretes have been obtained with compressive strength of 25 to 45 MPa at a water resistance of 0.98-1.0. Used in this study is not strong limestone and the amount of cement was from 250 to 450 kg/m³.

Almost all concrete is modified in different ways in our time. Fibre-concretes are also widely used in transport construction. Therefore, there is an important study of the effectiveness of using dispersed reinforcement in the concrete on the limestone rubble

It is known that silica fume is active mineral additives. This additive has promising for composites based on cement [4]. This modifier improves the structure due to chemical activity and the effect of "micro filler." Also silica fume compacts the concrete structure, reduces the number of micro-defects, increases strength and reduces water permeability, increase the durability of concrete. However, the use of silica fume requires increasing the W/C ratio in the mixture. Because of this, silica fume used effectively with the superplasticizer only [5]. Thus, the current research is the task of the modified silica fume and superplasticizer concrete with limestone rubble.

Research methodology

Expanded clay gravel Odessa plant of expanded clay used in previous studies. Gravel size was 5.10 mm and an average density of 655 kg/m³. In these studies used limestone gravel quarry Velikodolinskoe (Odessa region). Crushed stone has a size of 5-20 mm and an average density of 1200 kg/m³. Also used silica sand with gradation factor 2.6 and Portland cement M400. Properties of concrete with limestone and

гранітному щебені перша серія експериментів проводилися на двох аналогічних партіях бетонів з рівною по обсягу кількістю вапнякового або гранітного щебеню.

У першій серії проводився 2-х факторний експеримент за 9-ти точковим оптимальним планом [6], у якому варіювалися наступні фактори складу бетону:

X_1 – кількість портландцементу, від 300 до 500 кг/м³;

X_2 – кількість поліпропіленової фібри Ваусон (діаметр волокон 18.7 мкм, довжина – 12 мм), від 0 до 1 кг/м³.

Всі досліджені у даній серії суміші були пластифіковані суперпластифікатором С-3 в кількості 0.8% від маси цементу і мали рівну рухливість ОК = 2 ± 0.5 см, що досягалося підбором кількості води і забезпечувало коректність порівняння.

У другій серії досліджень проводився інший 2-х факторний експеримент за 9-ти точковим планом. Варіювалися наступні фактори складу:

X_1 – кількість мікрокремнезему, від 0 до 40 кг/м³;

X_2 – кількість суперпластифікатору С-3, від 0.5 до 1.0% від маси цементу.

Для всіх складів кількість портландцементу становила 450 кг/м³. Всі суміші мали рівну рухомість ОК=6.8 см.

У другій серії також виконувалося дві паралельних партії, обидві на вапняковому щебені, проте за різними технологіями змішування суміші. У першій партії (контрольній) змішування проходило за традиційною технологією з послідовним завантаженням у змішувач вапнякового щебеню, який при змішуванні зволожувався водою в обсязі 10% від загальної кількості води у складі, далі завантажувалася пісок, портландцемент, мікрокремнезем (при необхідності) й вода з добавкою С-3. Загальний час приготування суміші складав 4-5 хвилин.

Для другій партії змішування проводилося з попередньою обробкою пористого вапнякового щебеню цементною суспензією.

granite rubble compared to the first series of experiments. Studies have been conducted on two batches of similar concrete with equal volume of crushed stone: limestone or granite.

2 factorial experiments were conducted in the first series with accordance of 9-a point the optimal plan [6]. In the experiment varied following concrete composition factors:

X_1 – the amount of Portland cement, from 300 to 500 kg/m³;

X_2 – the amount of polypropylene fibers Baucon (fiber diameter is 18.7 microns, length is 12 mm), from 0 to 1 kg/m³.

All investigated in this series mixture contained superplasticizer S-3 0.8% by weight of cement. Also, all mixture had the same mobility 2 ± 0.5 cm. This is achieved by selecting the amount of water in the mixture and provided a comparison between the concrete.

Another 2 factorial experiment was conducted in the second series with accordance of 9-a point the optimal plan to. Such concrete composition factors varied:

X_1 – the amount of silica fume, from 0 to 40 kg/m³;

X_2 – the amount of superplasticizer S-3, from 0.5 to 1.0% by weight of cement.

For all compositions the amount of Portland cement was 450 kg/m³. All blends have equal mobility 6.8 cm.

In the second series also produced two parallel batch of concrete. Both parties were made on limestone rubble, however, different blending technology has been used. The first batch (control) the mixing produced by traditional technology. At first charged to the mixer limestone gravel, which is then saturated with water in the amount of 10% of the total amount of water in the concrete. Further, the mixer was charged with sand, Portland cement, silica fume (if necessary), and water with addition S-3. The total time of mixing is 4-5 minutes. For the second batch mixing was carried out with pre-treatment of porous limestone

Обробка проводилася з метою покращення властивостей бетону завдяки зміцненню контактної зони крупного заповнювача. Послідовність змішування була такою: у змішувач подавалася вся вода з добавкою С-3 і з 30% від необхідної кількості портландцементу та, при необхідності, мікрокремнезему. Після хвилини перемішування цементної суспензії у змішувач подавався вапняковий щебінь, який далі оброблявся даною суспензією протягом 1-ї хвилини (тобто продовжувалося перемішування). Далі в змішувач подавався пісок і решта цементу та мікрокремнезему. Суміш перемішувалася до досягнення однорідності. Загальний час перемішування складав 5-6 хвилин, що лише на хвилину довше, ніж приготування суміші традиційним способом. Ця хвилинка необхідна для приготування цементної суспензії, а подальші операції проходять приблизно в тому ж темпі, що і при традиційній технології приготування бетонної суміші.

Результати досліджень

Проведені у попередніх етапах дослідження властивостей керамзитобетонів для конструкцій транспортних споруд показати високу ефективність цього матеріалу [7]. Модифіковані мікрокремнеземом і добавкою С-3 керамзитобетони мали міцність при стиску до 40 МПа, міцність на розтяг при згині до 7 МПа і водонепроникність до W12. Проте подібні матеріали через досить високу вартість керамзиту можна рекомендувати лише для обмеженого кола споруд, в конструкціях яких важливою характеристикою є вага та/або термічні властивості. Тому в подальшому будуть розглядаються бетони на вапнякових заповнювачах. Ці заповнювачі на ринку є дешевшими за граніт і завдяки місцевому походженню забезпечують менші витрати на доставку.

У першій серії [8] з умов експерименту водопотреба сумішей залежала від їх складу, відповідно найменше В/Ц в обох партіях мають суміші з максимальною кількістю портландцементу і без фібри. При використанні карбонатного щебеню В/Ц сумішей було дещо вищою, що пояснюється

rubble cement slurry. Processing was carried out to strengthen the contact zone of the coarse fillers. This operation improves the properties of concrete. Mixing sequence was as follows: all loaded into the mixer with the addition of water, S-3 and 30% of the required amount of Portland cement, and (if necessary) silica fume. After one minute of mixing the cement slurry in the mixer was charged with limestone rubble. Then gravel treated with this suspension in the course of one minute while mixing. Further in the mixer was charged with sand, cement and silica fume remainder. The mixture was mixed to it reached the homogeneity. Total time of the mixture was 5-6 minutes. This time just for a one minute longer than the time of preparation of the concrete mixture in the traditional way. This one minute is required for the preparation of a cement slurry. The remaining of the mixing operation are roughly the same pace as in the traditional technology of concrete preparation.

Research results

Properties of lightweight expanded clay concrete for construction of transport structures were studied in the early stages of research. These studies show the high efficiency of expanded clay concrete [7]. The modified silica fume and additive S-3 expanded clay concrete had a compressive strength up to 40 MPa, tensile strength in bending up to 7 MPa, and water resistance up to W12. However, such materials because of the high cost of expanded clay can be recommended only for limited types of structures. It is effective for constructs in which weight or a thermal property is important. Therefore, in the future will be considered concrete on limestone aggregates. These fillers on the market cheaper than granite. They also provide a lower cost of shipping because of local origin.

For the experimental conditions in the water demand of the first series of mixtures depend on their composition [8]. Accordingly, the smallest W/C ratio in the two batches were mixed with the maximum amount of Portland cement and without

поглинанням води заповнювачем. В цілому, за рахунок застосування добавки С-3 всі досліджені суміші мали досить низькі показники В/Ц (від 0.34 до 0.49 для складів на вапняковому щебені та від 0.32 до 0.46 – на гранітному).

Середня щільність бетонів на вапняковому щебені коливалася від 2270 до 2300 кг/м³, аналогічних складів на гранітному щебені – від 2380 до 2400 кг/м³. Тобто при використанні карбонатного заповнювача з щільних порід вапняку середня щільність бетону несуттєво відрізняється від об'ємної маси «традиційного» важкого бетону на гранітному щебені.

Встановлено, що кількість поліпропіленової фібри не впливає на міцність матеріалів при стиску. Відповідно на рис.1 показано вплив кількості портландцементу на міцність досліджених у першій серії бетонів.

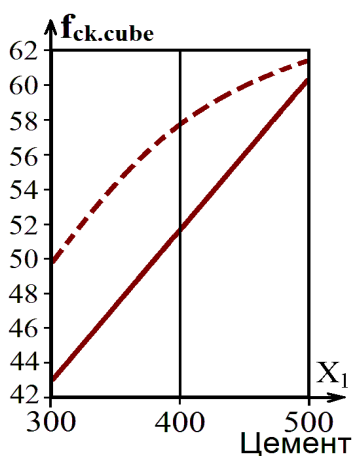


Рисунок 1 – Вплив кількості портландцементу на міцність бетонів при стиску: — склади на карбонатному щебені, - - - склади на гранітному щебені (перша серія досліджень)

Як видно з діаграм, міцність при стиску бетонів на карбонатному щебені була дещо нижчою, ніж на гранітному. Проте по мірі збільшення кількості цементу різниця знижується і при кількості в'язучого 450-500 кг/м³ вона не перевищує 5%. Це можна пояснити кращою роботою пористого заповнювача у «жирних» сумішах з великою кількістю цементу, також при зростанні

fibers. When using a carbonate gravel W/C ratio blends were slightly higher, it due to the absorption of the water by filler. In general, due to the use of the additive S-3 all the studied mixtures had enough low levels W/C ratio (from 0.34 to 0.49 for a composition of limestone rubble and from 0.32 to 0.46 for a composition of crushed granite).

The average density of concrete on limestone rubble was from 2270 to 2300 kg/m³. The density of the compositions similar to granite rubble was from 2380 to 2400 kg/m³. That is, when using a carbonate filler of solid limestone rocks average density of concrete is little different from the density of the "traditional" heavy concrete on the granite rubble.

It is found that the amount of polypropylene fibers has no effect on the compressive strength of the concrete. Accordingly, in Figure 1 shows the effect of the amount of Portland cement concrete for strength, which was study in the first series.

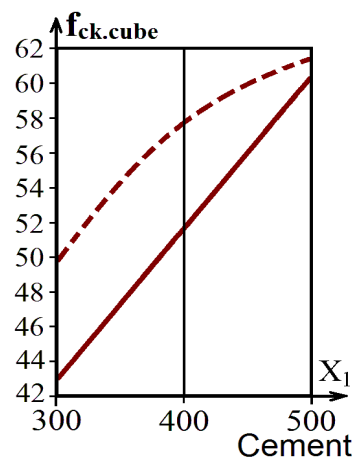


Figure 1 – The impact on amount of Portland cement to concrete compressive strength: — compositions on carbonate rubble, - - - compositions on a granite rubble (the first series of studies)

The diagram shows that the compressive strength of concrete on carbonate rubble was slightly lower than the concrete strength of concrete on crushed granite. However, this difference is reduced as the amount of cement. When the amount of the binder of 450-500 kg/m³, strengths difference does not exceed 5%. Also, when the amount of binder

кількості в'язучого згідно з принципами підбору складу дещо знижується частка крупного заповнювача в суміші та зростає розсунення його зерен.

Побудована за відповідними експериментально-статистичними (ЕС) моделями діаграма, що відображають вплив факторів на міцність бетонів на різних заповнювачах на розтяг при згині, показана на рис.2. Її аналіз дозволяє сказати, що міцність досліджених бетонів на розтяг несуттєво залежить від виду застосованого щебеню. Це можна пояснити тим, що вапняк є доволі пористим заповнювачем, через що проявляє ефект «самовакуування». Тобто адгезія між розчинною частиною бетону і заповнювачем покращується, що в першу чергу відображається на величині міцності на розтяг. При введенні $0.8-0.9 \text{ кг/м}^3$ дисперсного волокна міцність бетонів на розтяг зростає на $0.4-0.9 \text{ МПа}$ для складів на гранітному щебені та на $0.3-0.4 \text{ МПа}$ для складів на карбонатному щебені. Більше дозування фібри вже не ефективно, що пояснюється її впливом на В/Ц сумішей.

У другій серії експерименту всі суміші мали рухомість $OK=6..8 \text{ см}$, тобто їх водопотреба теж залежала від складу. Встановлено, що технологія змішування (традиційна або з попередньою обробкою пористого вапнякового щебеню суспензією) не впливає на рівень В/Ц суміші. По мірі зростання кількості суперпластифікатору В/Ц суміші знижується. При введенні в бетонну суміш мікрокремнезему у кількості до 20 кг/м^3 її В/Ц змінюється несуттєво. Збільшення кількості мікрокремнезему до 40 кг/м^3 викликає необхідність підвищення В/Ц або кількості добавки С-3 для збереження рухомості суміші.

is increased in accordance with the principles of selection of the composition of amount of coarse gravel in the mixture is little reduced, thereby increasing the distance between the porous gravels in concrete.

Figure 2 shows a diagram, which reflects the impact of factors on the strength of concrete at various fillers tensile bending. This diagram is based on relevant experimental-statistics (ES) models. Its analysis makes it possible to say that the tensile strength of the investigated concrete insignificantly depends on the application of rubble. This can be explained by the fact that limestone is a porous filler, because of which shows a "self-vacuum" effect. That is, the adhesion between the filler and the soluble part is improved, which greatly affects the tensile strength of the concrete. With the using of $0.8-0.9 \text{ kg/m}^3$ of fiber concrete tensile strength is increased by $0.4-0.9 \text{ MPa}$ for the composition on granite rubble and $0.3-0.4 \text{ MPa}$ for compositions on carbonate gravel. But increasing the more amount of fiber is not effective, because the influence of the fiber on the W/C ratio in the mixtures.

In the second series of experiment were all mixtures mobility $6..8 \text{ cm}$, i.e. W/C ratio of mixtures is also dependent on the concrete composition. It is found that blending technology (traditional or pretreatment calcareous gravel cement slurry) the level W/C mixing ratio does not affect. By increasing the amount of superplasticizer W/C ratio of the mixture is reduced. When injected into the concrete mix of silica fume in amounts of up to 20 kg/m^3 W/C is changed slightly. Increasing the amount of silica fume 40 kg/m^3 is the need to increase the W/C or increasing the amount of additive S-3 for storing the mobility of the mixture.

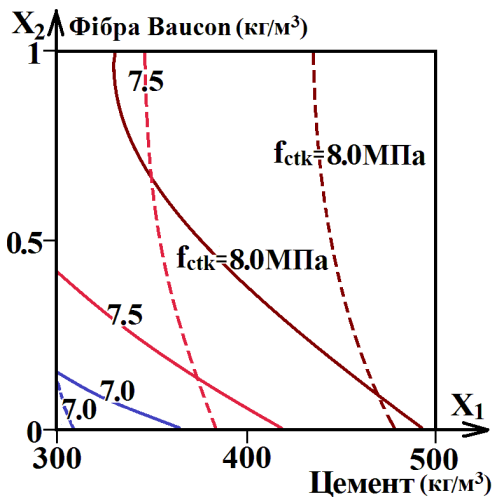


Рисунок 2 – Вплив кількості портландцементу і фібри на міцність бетонів на розтяг при згині: — склади на карбонатному щебені, - - - склади на гранітному щебені (перша серія досліджень)

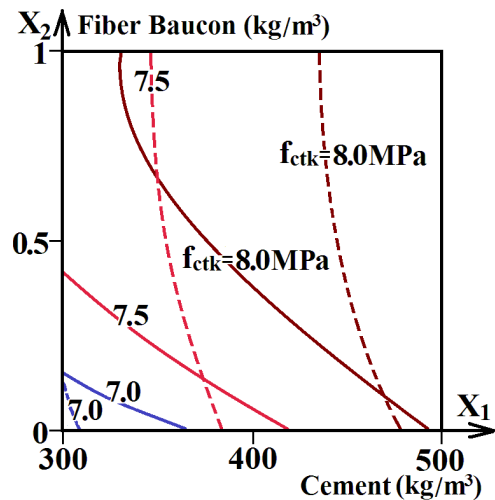


Figure 2 – The impact on amount of Portland cement to concrete tensile bending strength: — compositions on carbonate rubble, - - - compositions on a granite rubble (the first series of studies)

За відповідними ЕС-моделями були побудовані діаграми, що показані на рис.3 і відображають вплив кількості С-3 і мікрокремнезему на міцність при стиску досліджених бетонів на вапняковому щебені. Аналіз діаграм показує, що для обох партій досліджених бетонів максимальну міцність мають склади при кількості добавки С-3 0.8-0.9% і мікрокремнезему приблизно 30 кг/м³. Завдяки застосуванню оптимальної кількості модифікаторів міцність при стиску бетонів зростає на 16-18 МПа в порівняння зі складами без мікрокремнезему і з мінімальною кількістю добавки С-3. Тобто запропонований метод модифікації є ефективним для бетонів на вапняковому щебені.

Важливим ефектом можна вважати, що міцність бетонів на обробленому цементною суспензією вапняковому щебені була на 4-5 МПа вища за міцність контрольних бетонів аналогічних складів. Тобто за рахунок зміни технології приготування бетону на пористому заповнювачі відчутно збільшується міцність матеріалу. Цей ефект пояснюється зміцненням поверхневого шару крупного заповнювача та перехідної зони між заповнювачем і розчинною частиною бетону.

У другій серії також аналізувалася міцність бетонів на розтяг при згині. Встановлено, що величина цього показника не залежить від технології приготування бетонної суміші. Це можна пояснити тим, що міцність заповнювача в меншій мірі впливає на

Figure 3 shows diagrams that were built under the relevant ES-model. These diagrams reflect the influence of the amount of P-3 and silica fume on compressive strength of concrete on limestone rubble. Diagram analysis shows that the maximum strength of the concrete are at the amount of the additive S-3 0.8-0.9% and silica fume about 30 kg/m³ (for both parties). Use optimum amount of modifiers increases the compressive strength of concrete at 16-18 MPa compared to compositions without silica fume and with the minimum amount of additive S-3. That is, these modifiers is effective for concrete on limestone rubble.

The strength of the concrete on pre-treated by cement slurry limestone rubble at 4-5 MPa higher, than the strength of control concrete of similar composition. This is a very important technical effect. That is the strength of concrete with porous fillers increased due to the change of its production technology. This effect is due to the strengthening of the surface layer of coarse filler and the transition zone between filler and cement paste in concrete.

The tensile strength of concrete in bending investigated in the second series of experiments as well. It is found that the value of the tensile strength is independent of the technology of preparation of a concrete mix. This can be explained by the fact that the filler strength has little effect on

здатність композиту протидіяти розтягуючим навантаженням, ніж навантаженням стиску.

the ability of the composite to withstand tensile loads.

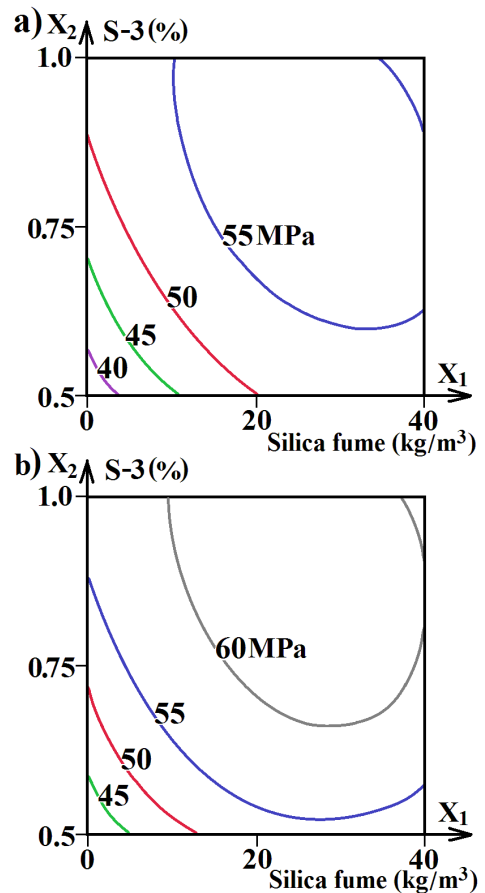
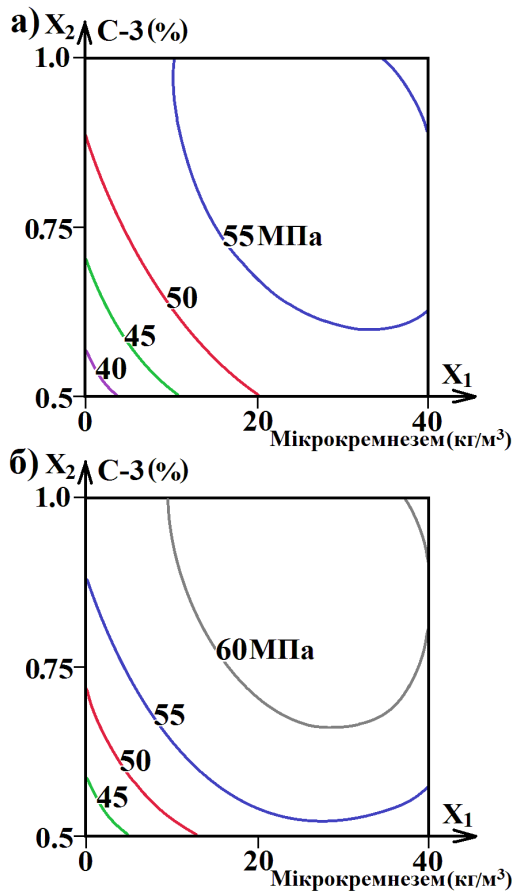


Рисунок 3 – Вплив кількості мікрокремнезему і добавки С-3 на міцність при стиску досліджених бетонів на вапняковому щебені (друга серія досліджень):
 а) приготованих за традиційною технологією,
 б) на обробленому цементною суспензією щебені

Figure 3 – The impact on amount of silica fume and additives S-3 to compressive strength of concrete on limestone rubble (second series of studies):
 a) prepared by traditional technology,
 b) pre-treated cement slurry rubble

На рис.4 показана діаграма у вигляді квадрату, яка побудована по відповідній ЕС-моделі та відображає вплив складу бетону (для обох партій другої серій) на величину його міцності на розтяг при згині. Аналіз діаграми показує, що варійовані у експерименті фактори на величину f_{ctk} оказують менший вплив, ніж на величину міцності при стиску. За рахунок введення мікрокремнезему міцність на розтяг збільшується на 0.2-0.6 МПа, при чому по мірі збільшення кількості добавки С-3 вплив цього фактору зменшується. При підвищенні кількості суперпластифікатору з 0.5 до 1% величина f_{ctk} досліджених бетонів збільшується приблизно на 1 МПа для складів без мікрокремнезему і приблизно на 1.5 МПа для складів з вмістом 30-40 kg/m^3 мікрокремнезему. Тобто досліджені бетони на вапняковому щебені характеризуються досить

Figure 4 shows a diagram which illustrates the effect of the composition of the concrete tensile strength in bending (for both parties of the second series). This diagram constructed in a square form for the relevant ES-model. Analysis of the diagram shows that the factors, for varying, the tensile strength of the concrete has less effect than the compressive strength. By introducing silica fume tensile strength increases by 0.2-0.6 MPa, but as the amount additives S-3 the influence of this factor diminishes. The tensile strength of concrete is increased by about 1 MPa with increasing the amount of superplasticizer by 0.5 to 1% for compositions without silica fume and about 1.5 MPa for compositions containing 30-40 kg / m^3 silica fume. That is concrete on a dense limestone rubble have high tensile strength. This allows us to

високим рівням міцності на розтяг, що дозволяє вважати їх перспективним матеріалом для конструкцій транспортних споруд. Досліджені модифіковані бетони також мають досить високий рівень морозостійкості та водонепроникності [8], що забезпечує їх довговічність.

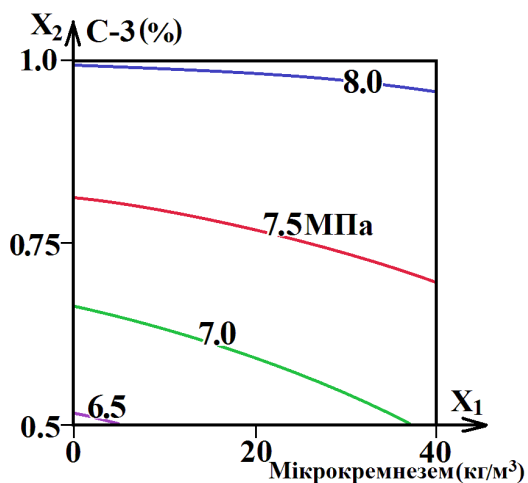


Рисунок 4 – Вплив кількості мікрокремнезему і добавки С-3 на міцність на розтяг при згині досліджених бетонів на вапняковому щебені (друга серія досліджень).

Висновки

Механічні властивості модифікованих бетонів на обробленому місцевому вапняковому щебені дозволяють рекомендувати їх для конструкцій ряду транспортних споруд. Міцність бетонів на щільних вапняках несуттєво відрізняється від міцності бетонів на гранітному щебені. Найбільшу міцність при стиску мають бетони при кількості мікрокремнезему близько 30 kg/m^3 і добавки С-3 від 0.8 до 0.9%. За рахунок модифікації та дисперсного армування на 1-1.5 МПа підвищується міцність на розтяг при згині бетонів на вапняковому щебені. Попередня обробка пористого щебеню цементною суспензією дозволяє підвищити міцність бетону при стиску в середньому на 5 МПа, тобто попередня обробка є ефективним технологічним прийомом підвищення якості бетонів на пористих заповнювачах.

Література

1. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов / М.З. Симонов – М.: Стройиздат, 1973. – 584 с.
2. Хохрин Н.К. Парадигмы долговечности легкого бетона/ Н.К. Хохрин. – Самара:

consider them a promising material for the construction of transport structures. The modified concrete on limestone rubble also have high levels of frost resistance and water resistance [8], which ensures their durability

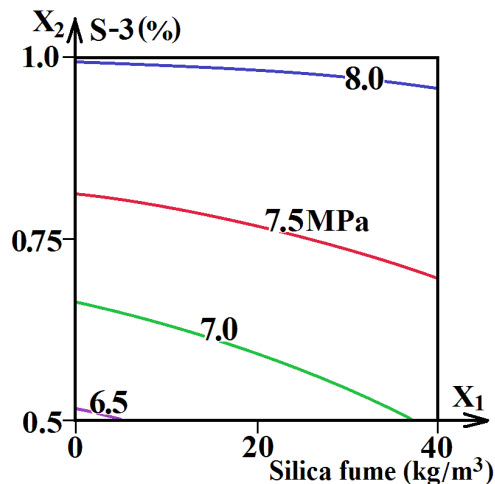


Figure 4 – The impact on amount of silica fume and additives S-3 to tensile bending strength of concrete on limestone rubble (second series of studies).

Conclusions

The modified concrete on pre-treated by cement slurry local limestone rubble has high mechanical properties. It is possible to recommend such concrete for some transport structures.

The strength of concrete on solid limestone does not differ from the strength of concrete on granite rubble. The highest compressive strength of concretes have composite in an amount of silica fume about 30 kg/m^3 and additives S-3 from 0.8 to 0.9%. Tensile strength in bending of concrete on limestone rubble increases by 1-1.5 MPa due to the modification and reinforcement fibers. Pretreatment cement slurry of porous concrete rubble can increase the compressive strength in average of 5 MPa. Thus, pre-treatment of the porous fillers is an effective technological methods of increasing the quality of concrete.

Literature

1. Simonov M.Z. Bases of technology of lightweight concrete / M.Z. Simonov – Moscow: Stroyizdat, 1973. – 584 p.
2. Khokhrin N.K. Paradigms durability of lightweight concrete / N.K. Khokhrin. – Samara: SamIIT, 2000. – 181 p.

СамИИТ, 2000. – 181 с.

3. Черепов В.Д. Бетон на основе низкопрочных карбонатных пород / В.Д. Черепов, Н.П. Коршунова – Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования», 2013, №2 [Электрон. ресурс]. - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/108-8676>

4. Shetty M.S. Concrete technology. Theory and practice / M.S. Shetty. – New Delhi: S. Chand & company ltd, 2000. – 624 p.

5. Каприелов С.С. Бетоны нового поколения с высокими эксплуатационными свойствами / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Материалы международной конференции "Долговечность и защита конструкций от коррозии", М., 1999 - С.191-196.

6. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.

7. Механічні властивості модифікованих суднобудівних керамзитобетонів / А.В. Мишутін, С.О. Кровяков, О.В. Піщев, Т.І. Піщева, М.В. Заволока // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. №63 – Одеса; Атлант, 2016. – С.161 – 166.

8. Мішутін А.В. Порівняння властивостей бетонів жорстких дорожніх покриттів на різних типах заповнювача / А.В. Мішутін, С.О. Кровяков, А.О. Полторапавлов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 31. – Рівне: НУВГП, 2015. – С.251-257.

3. Cherepov V.D. Concrete based on low-strength carbonate rocks / V.D. Cherepov, N.P. Korshunova – Electronic scientific journal "Modern problems of science and education", 2013, №2 [Electron. resource]. – Access mode: <http://www.science-education.ru/108-8676>

4. Shetty M.S. Concrete technology. Theory and practice / M.S. Shetty. – New Delhi: S. Chand & company ltd, 2000. – 624 p.

5. Kapriyelov S.S. A new generation of concretes with high performance / S.S. Kapriyelov, A.V. Sheynfeld // Proceedings of the international conference "The durability and corrosion protection of structures", Moscow, 1999 – PP.191-196.

6. Voznesensky V.A. Numerical methods for solving construction and technological tasks on a computer / V.A. Voznesensky, T.V. Lyashenko, B.L. Ogarkov. – Kiev: High School, 1989. – 327 p.

7. Mechanical properties of modified shipbuilding expanded clay concrete / A.V. Myshutin, S.O. Krovyakov, O.V. Pischev, T.I. Pischeva, N.V. Zavaloka // Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. №63 – Odessa; Atlanta, 2016. – PP.161 - 166.

8. Mishutin A.V. Comparison properties of concrete pavement on different types of filler/ A.V. Mishutin, S.O. Krovyakov, S.A. Poltorapavlov // Resource materials, structures and buildings. Issue 31 - Rivne: National university of water and environmental engineering, 2015. – PP.251-257.

Рецензенти:

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка".

Reviewers:

Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Solodkyi S.Yo., Dr. Tech. Sci., NU "Lviv Polytechnic".

Стаття надійшла до редакції: **11.10.2016 р.**