**Міністерство освіти і науки України**

**Інженерний навчально-науковий інститут**

**Запорізького національного університету**

 **П.П. Бичевий**

 **К.М. Мішук**

**Сучасні будівельні матеріали**

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт**

для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

освітньо-професійних програм «Промислове і цивільне будівництво», «Міське будівництво та господарство», «Водопостачання та водовідведення»

Запоріжжя

2021

Міністерство освіти і науки України

Інженерний науково-навчальний інститут

Запорізького національного університету

П.П. Бичевий, К.М. Мішук

Сучасні будівельні матеріали

Методичні вказівки до виконання практичних робіт

для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

освітньо-професійних програм «Промислове і цивільне будівництво», «Міське будівництво та господарство», «Водопостачання та водовідведення»

 Затверджено

 вченою радою ЗНУ

 протокол № від 2021 р

Запоріжжя

2021

ВСТУП

Курс дисципліни «Cучасні будівельні матеріали» призначений поглибити та розширити у майбутнього спеціаліста знання в області способів формування багатоцільових структур і властивостей будівельних матеріалів. Базові принципи дисципліни передбачають використання взаємозв’язків та взаємозалежностей між складом, технологією, структурою та властивостями як головного засобу вирішення завдання. У відповідності до визначених підходів для кожного виду матеріалу розглядаються заходи, за рахунок яких формуються широкомасштабні функції. Результати вивчення функцій складових та матеріалів в цілому нададуть студентові змогу вирішувати практичні завдання в його майбутній виробничій діяльності.

Методичні вказівки включають стислу інформацію стосовно наведених видів матеріалів, приклади вирішення практичних завдань та завдань до самостіного вирішення.

На основі результатів аналізу базових характеристик, виявлення сутності наведених прикладів вирішення практичних завдань студент має змогу набути чітке розуміння зумовленості формування структури, яка являється домінуючим фактором впливу на властивості будівельних матеріалів. Звідси – зання цілеспрямованого регулювання як структурою, так і властивостями.

Важливо звернути увагу, що кінцевим підсумком детального аналізу та оцінювання набутих результатів будуть знання шляхів пошуку раціонального виготовлення, вибору і використання будівельних матеріалів оптимальної ресурсомісткості та вартості.

Рекомендовано прийняти до уваги, що сучасні будівельні матеріали отримують на принципах композиційності, в яких кожен компонент взаємно підсилює дію іншого, в результаті чого надаються такі властивості, що перевершують показники окремо взятого. Тому підбирають такі компоненти, та в такій кількості, які разом регулюють утворення потрібної структури. В кінцевому підсумку досягаються оптимальні властивості та потрібний матеріал.

Таким чином, пізнати сутність сучасних будівельних матеріалів, шляхи регулювання видів та їхніх властивостей найбільш доступно через визначення та оцінювання структури.

З наведених позицій викладені практичні завдання побудовані на визначенні структурних показників, до яких належать істинна густина, середня густина та пористість. Звідси видно, що обгрунтування знання структур і матеріалів досягається виявленням структурних характеристик та їхніх взаємозв’язків з властивостями.

Більшість запропонованих практичних завдань пов’язані з визначенням зумовленості структури матеріалів, утворених неорганічними в’яжучими.

1. **ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ**

**Мета:** набути вміння визначати структурні показники природних кам’яних матеріалів та величину їхнього водопоглинання.

**1.1 Приклади розв'язування задач**

**1.** Маса зразку гірської породи в сухому стані 210 г. Після витримування у воді протягом 48 год маса збільшилася до 225 г. Після висушування і насичення водою під тиском маса дорівнювала 232 м. Істинна густина гірської породи становить 2780 кг/м3, а середня густина зерен 2000 кг/м3. Визначити пористість, водопоглинання і водонасичення за масою і об’ємом.

**Рішення.**

Водопоглинання по масі:

Wм = $\frac{mв-mс}{mc}$ 100 = $\frac{225-210}{210}$100 = 7,1% (0,071 д.о.),

де mв - маса насиченого водою матеріалу, г; mс - маса сухого матеріалу, г.

Водопоглинання за об’ємом:

Wо = Wм$\frac{ρo}{ρв}$ = 7,1$\frac{2000}{1000}$ = 14,2%,

де ρв - густина води, кг/м3.

Відносна густина зразку за показниками водопоглинання:

d = $\frac{W\_{o}}{W\_{m}}=\frac{14,2}{7,1}$ = 2,0.

Звідси середня густина:

ρо = d ·ρв = 2,0 ·1000 = 2000 кг/м3.

Пористість породи:

П = (1-$ \frac{ρm}{ρ}$) 100 = (1-$\frac{2000}{2780}$) 100 = 28,1% (0,281 д.о.),

де ρ - істинна густина матеріалу, кг/м3.

**1.2 Задачі для самостійного розв’язування**

1. Маса зразку породи в сухому стані 220 г. Після витримування у воді протягом 48 год маса збільшилася до 238 г, істинна густина гірської породи дорівнює 2750 кг/м3, середня густина 2000 кг/м3. Визначити пористість, водопоглинання за масою і за об’ємом.

Рішення:

Водопоглинання по масі:

Wм = $\frac{mв-mс}{mc}$ 100 = $\frac{238-220}{220}$100 = 8,2% (0,082 д.о.),

де mв - маса насиченого водою матеріалу, г; mс - маса сухого матеріалу, г.

Водопоглинання за об’ємом:

Wо = Wм$\frac{ρo}{ρв}$ = 8,2$\frac{2000}{1000}$ = 16,4%,

де ρв - густина води, кг/м3.

Пористість породи:

П = (1-$ \frac{ρm}{ρ}$) 100 = (1-$\frac{2000}{2750}$) 100 = 27,3% (0,273 д.о.),

де ρ - істинна густина матеріалу, кг/м3.

2. Маса зразку каменю в сухому стані дорівнює 175 г. Після насичення водою маса стала 194 г. Істинна густина гірської породи становить 2700 кг/м3. Визначити середню густину каменю, його пористість, якщо водонасичення цієї породи за об’ємом становить 12,5% .

3. Визначити середню густину і пористість зернистого матеріалу, якщо його істинна густина дорівнює 2650 кг/м3, насипна густина 1400 кг/м3, міжзернова пустотність дорівнює 47%.

4. Визначити істинну густину породи і міжзернову пустотність зернистого матеріалу, якщо його насипна густина дорівнює 1350 кг/м3, середня густина 2590 кг/м3, пористість 4,5%.

5. Маса зразку каменю в сухому стані дорівнює 50 г. Визначити масу зразку після насичення його водою, якщо відомо, що водопоглинання за об’ємом дорівнює 18%, а середня густина каменю 1800 кг/м3.

6. У скільки разів пористість каменю А відрізняється від пористості каменю В, якщо відомо, що істинна густина каменів однакові і складають 2720 кг/м3, але середня густина каменю А на 20% більше, ніж у каменю В, у якого водопоглинання за об'ємом в 1,8 рази більше водопоглинання за масою?

7. Маса кам'яного зразку в сухому стані дорівнює 100 г. Визначити масу зразку після насичення його водою і істинну густину каменю, якщо відомо, що водонасичення за обсягом дорівнює 18%, пористість каменю 25% і середня густина 1800 кг/м3.

8. Маса зразку каменю в сухому стані дорівнює 60 г. При насиченні водою маса стала 70 г. Визначити середню густину, водопоглинання за масою і пористість каменю, якщо водопоглинання за об'ємом складає 21%, а істинна густина 2,4 г/см3.

9. Маса сухого зразку вапняка-черепашника дорівнює 300 г. Після насичення водою маса зразку збільшилася до 390 г. Знайти пористість, об'ємне і масове водопоглинання вапняка-черепашника, якщо істинна густина каменю 2400 кг/м3, а об’єм зразку становить 250 см3.

1. **Керамічні МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ**

**Мета:** засвоєння студентами сутності керамічних матеріалів, основ технології їхнього виготовлення та визначальних параметрів оцінювання керамічних виробів.

Сучасні керамічні стінові вироби мають забезпечити повну ефективність їхнього виробництва і використання за рахунок зменшення їхньої густини та, відповідно, збільшення пористості та пустотілості.

За результатами виконання запропонованої практичної роботи (задачі), надати оцінку шляхам можливого зменшення усіх видів ресурсів як при виготовленні стінової кераміки, так і при її використанні.

**2.1 Приклади розв'язання задач**

**1.** Скільки буде потрібно глини по масі і об'єму для виготовлення 1000 шт. цегли стандартних розмірів із середньою густиною 1800 кг/м3, якщо середня густина глини 1700 кг/м3, її вологість 18% мас., втрати при випалюванні складають 10% від маси сухої глини? Під час виготовлення, вивантаження і навантаження цегли допускається 2% браку.

**Рішення**. З урахуванням браку потрібно виготовити цегли:

nцегл = 1000·1,02 = 1020 шт.

Об’єм цегли:

Vцегл = 1020·0,25·0,12·0,065 = 1,989 м3.

Маса цегли:

mцегл = V цегл·ρm = 1,989·1800 = 3580 кг,

де ρm - середня густина цегли, кг/м3.

Маса глини з урахуванням вологості і втрат при випалюванні:

mгл = 3580·1,18·1,10 = 4647 кг.

Об’єм глини масою 4647 кг:

Vгл = $\frac{m гл}{ρ гл}$ = $\frac{4647}{1700}$ = 2,73 м3,

де ρгл - середня густина глини, кг/м3.

**2.** Вологість глини 10% мас., втрати при випалюванні складають 8% від маси сухої глини. Середня густина керамічної цегли, виготовленого з неї, 1600 кг/м3. Яка кількість цегли розміром 250х120х65 мм можна отримати з 20 т глини?

Для кращого розуміння сутності кераміки та її виготовлення з сировини на основі глини та послідуючим високотемпературним випалюванням, рекомендується розглянути схему процесу:

 Вироби з сировини на основі Вироби з мінералу кераміка в складі

 глини (основа – мінерал каолінiт) нового мінералу муліту і деякого

 ˃1100°С вмісту розплаву

3Al2O3·2SiO2·2H2O3 3Al2O3·2SiO2 + SiO2

 каолініт процес випалювання муліт

**Рішення.** Вологість матеріалу, %, знаходимо за формулою:

W = $\frac{mв-mс}{mc}$100,

де mв і mc - маси вологого і сухого матеріалу відповідно, кг.

Отже, маса сухої глини:

mc = $\frac{mв}{1+\frac{W}{100}} $= 20000 / 1,10 = 18181,82 кг.

Маса глини після випалу:

mвип = $\frac{mc }{1,08}$ = 18181,82 / 1,08 = 16835 кг.

Обсяг цегли:

Vцегл = 0,25·0,12·0,065 = 1,95·10-3 м3.

Маса цегли:

mцегл = Vцегл ·ρm = 1,95·10-3 ·1600 = 3,315 кг,

де ρm - середня густина цегли, кг/м3.

Кількість цегли:

nцегл =$ \frac{mвип}{m цегл}$ = 16835/ 3,315 = 5078 шт.

За результатами розв’язування данної та попередньої задач зробити висновки про ефективність зниження показника середньої густини виготовленої цегли.

**2.2 Задачі для самостійного розв’язування**

1. Визначити витрату глини по масі і за обсягом для виготовлення 1000 шт. цегли стандартних розмірів при наступних даних: середня густина цегли 1570 кг/м3, насипна густина сирої глини 1650 кг/м3, вологість глини 13%. При випалюванні сирцю в печі втрати становлять 8,5% від маси сухої глини.

2. Скільки потрібно глини для виготовлення 2000 шт. плиток для підлоги розміром 150х150х13 мм, якщо відомо, що пористість плиток 4%, густина спеченої маси дорівнює 2520 кг/м3, а втрати при сушінні і випалюванні глини становлять 18% від маси глини?

3. Скільки глини по масі і за обсягом буде потрібно для виготовлення 10 тис. шт. керамічних каменів розміром 250х250х140 мм з пустотністью 56%. Середня густина керамічних каменів 1460 кг/м3, середня густина глини 1700 кг/м3, вологість глини 22%. Втрати при випалюванні складають 8% від маси сухої глини, брак каменів 2%.

4. Необхідно виготовити 1000 шт. пустотілих керамічних каменів з середньою густиною 1400 кг/м3. Середня щільність глини 1700 кг/м3, її вологість 18% мас., втрати при випалюванні складають 10% від маси сухої глини. Під час виготовлення, вивантаження і навантаження каменів допускається 2% браку. Скільки буде потрібно глини по масі і об'єму?

5. Яку кількість потовщеної керамічної цегли можливо виготовити з 5,0 т глини з вологістю 8% від маси сухої глини і втратами при випалюванні 10% від маси сухої глини? Середня густина отриманої з цієї глини потовщеної цегли дорівнює 1460 кг/м3.

6. Обчислити витрату глини (по масі і об'єму), необхідної для виготовлення 1000 шт. цегли, якщо середня густина отриманої цегли 1500 кг/м3, середня густина сирої глини в кар'єрі 1500 кг/м3, її вологість 12%, втрати при сушінні та випалюванні сирцю (сирої глини) в печі 6% від маси сухої глини.

1. **НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ**

**Мета:** виявити механізм перетворення сировинних матеріалів у в’яжучі речовини та зумовленість їхніх властивостей.

Виготовлення сучасних неорганічних в’яжучих базується на тепловому обробленні (нагріванні) відповідних сировинних матеріалів до певних температур. В результаті нагрівання сировини матеріали розпадаються (наприклад, гіпс, вапняк), а в деяких випадках при цьому утворюються нові матеріали (наприклад, портландцементи, глиноземистий цемент).

Отримані продукти набувають хімічної активності, що зумовлює їх до взаємодії з водою, тобто гідроізоляції з утворенням гідратних сполук.

Розв’язання запропонованих задач дозволить краще вияснити механізм процесів виробництва неорганічних в’яжучих речовин.

* 1. **Методи визначення стуктурних характеристик сучасних будівельних матеріалів**

По відношенню до неорганічних в’яжучіх речовин, крім знання процесів їхнього виготовлення, зумовленості процесів утворення каменю важливо уміти оцінити їхню структуру.

Для визначення структури, яка найбільшою мірою характеризується пористістю, необхідно знати істинну та середню густину каменю. Їх вираховують виходячи з механізмів гідратації та утворення продуктів гідратації, які утворюють каменеподібні продукти.

Істину густину новоутворених матеріалів на основі неорганічних в’яжучих рекомендовано визначати як масу тільки тієї речовини, яка утворилася з данбі речовини та співставляти з одиничним об єктом в абсолютно щільному (без пор) стані. Маса утвореного каменю враховується як така, що становить суму маси в’яжучої речовини та маси приєднаної води, тобто гідратної. Маси в’яжучого, води та утворених гідратних сполук приймати рівними їхній молекулярній масі у відповідності до рівня хімічної взаємодії та з врахуванням молекулярних мас. Це означає, що взаємодія в’яжучого з водою відбувається у відповідності до рівняння молекулярних мас згідно рівнянню хімічних реакцій.

Для визначення істинного об’єму взаємодіючих речовин потрібно суму мас усіх складових розділити на сумарний об’єм таких складових. Тобто, беруться до уваги маси та об’єми в’яжучої речовини, води замішування та повітря, яке може становити біля 2%. Об’єм складових являє собою величину відношення маси до істиної густини:

$V=\frac{m, кг }{ρ, кг/м^{3} }, м^{3}$;

Враховуючи, що в об’ємі утвореного тіста пори та пустоти практично
відсутні (2...3%), об’єм суміші перед гідратацією будуть складати об’єми
зерен в’яжучого та об’єм води замішування:

Vсум = Vв’яж + Vводи;

Величину істинної густини в’яжучих можна прийняти по відповідним посібникам та підручникам, абовикористати результати визначень, отриманих під час виконання лабораторних робіт.

Умовно допускається вважати об’єм утвореного в результаті гідратації
каменю в’яжучої речовини як об’єм, що зменшився на 2-3% по відношенню
до початкового об’єму тіста (за виключенням гіпсових в’яжучих, які не
зменшують об’єм). Масу каменю можна вважати такою, яка зманшилась за
рахунок залишку води після гідратації в’яжучого і яка випаровується. Тобто,
масу каменю становить маса в’яжучого, збільшену на масу гідратної води, яку в’яжуче приєднує в процесі гідратації від загальної кількості води замішування при приготуванні суміші (тіста).

Отже, в результаті відповідних розрахунків визначені:

* маса каменю як продукту гідратації:

mк = (mв’яж + mводи гідр.), кг;

об’єму каменю в натуральному стані, тобто з урахуванням пор і пустот:

$V\_{кам}=V\_{в'яж}+V\_{води заміш}$;

- об’єм каменю без пустот і пор, тобто тільки речовини, з яких утворився камінь (істинний об’єм):

$V\_{кам.іст}=V\_{кам}-V\_{води випар}$,

де $V\_{води випар}$ – об’єм випарованої води, тобто:

$$V\_{води випар}=V\_{зам }V\_{гідр}$$

Знайдені показники дозволяють вирахувати істинну та середню густину:

$ρ\_{о}\frac{m\_{к}}{V\_{кам}}$ , кг/м3;

 $ρ\frac{m\_{к}}{V\_{іст}}$, кг/м3;

За їхніми величинами визначають пористість зразку:

$П=\left(1-\frac{ρ\_{о}}{ρ}\right)$, д.о. або %

Наступні обчислення проводяться з розрахунку, що до складу суміші включають пластифікуючу добавку, яка змінює водопотребу. Необхідно знайти зміну пористості, побудувати графік зміни пористості та співставити з графіком зміни міцності.

* 1. **Повітряне вапно**

Технічні вимоги до вапна нормуються наступним. Якість вапна характеризують такі показники: вміст активних оксидів CaO і MgO; вміст активного MgO; кількість непогашених зерен; швидкість гашіння; втрати при прожарюванні. За вмістом активних оксидів CaO і MgO повітряне вапно ділиться на три сорти.

**3.3 Портландцементи**

Технічні вимоги до портландцементу нормуються. Якість портландцементу характеризують такі показники: тонкість помелу; нормальна густота цементного тіста і терміни його схоплювання; рівномірність зміни обсягу цементу; межа міцності при вигині і стиску зразків-балочок, виготовлених з цементно-піщаного розчину.

 **Портландцемент** (ПЦ) - традиційне і найбільш поширене в'яжуче, вміст якого включає 48...60 % трикальцієвого силікату 3CaO·SiO2 (аліту); 12...20 % двокальцієвого силікату 2CaO·SiO2 (біліту); 5...15 % трикальцієвого алюмінату 3CaO·Al2O3; 10...20 % чотирикальцієвого алюмофериту 4СаО·Al2O3 (целіту). До цих мінералів в процесі подріблення клінкеру добавляють 3..5 % гіпсу CaSо4·2H2O.

Потрібно звернути увагу, що коли склад названих чотирьох мінералів виходить за наведені вище межі, тоді утворюються спеціальні види портландцементів.

Якщо вміст одного мінералу більший, то портландцемет відповідно буде мати найменування алітового, білітового, алюмоферитового. Якщо двох - то по назві цих мінералів, наприклад, алюмінатобілітового.

**Швидкотверднучі** (ШТЦ), **особливошвидкотверднучі** (ОШТЦ) - містять підвищену кількість аліту, мають високу тонкість помелу (350...400м2/кг), а **найдшвидкотверднучі** (НТШУ) - ще й домішки CaF2 або CaCl2. Білий та кольорові портландцементи одержують за рахунок чистих сировинних складових (які майже не містять оксидів металів), а під час помелу або добавляють, або не добавляють (для білих ПЦ) відповідні мінеральні пігменти.

**Пластифікований портландцемент** виготовляється шляхом подріблення клінкеру з добавками гіпсу (3...5 %) і 0,25 % лігносульфонату технічного (ЛСТ) чи іншого пластифікатору.

**Гідрофобний портландцемент** утворюється за рахунок добавки при подрібленні 0,08...0,25 % гідрофобізуючої речовини (олеїнової кислоти, асидолу, милонафту).

**Пуццолановий портландцемент** відрізняється вмістом 20...40 % активної мінеральної добавки, якщо меньше 20% - тоді портландцемент з активними мініральними добавками.

**Шлакопортландцемент** (ШПЦ) вміщує 20...80 % гранульованого доменно­го шлаку.

**Сульфатостійкий** **портландцемент** в своєму складі має зменшений вміст аліту (не більше 50 %), алюмінату (до 5 %) та суми алюмінату і алюмофериту не більше ніж 22 %. Цей зменшений вміст названих мінералів дозволяє змінити обсяги утворення еттрингіту, що викликає руйнуючу дію в сульфатних розчинах.

**Глиноземистий** цемент - відрізняється тим, що складається переважно тільки з низькоосновних алюмінатів кальцію (80 % СаОАl2O3).

**Водонепроникний,**  **розширний,** **гіпсоглиноземистий** **розширний,** напружувальний цементи - це гідравлічні в'яжучі речовини, що одержані помелом або змішуванням у різних співвідношеннях глиноземистого та потрландцементу з гіпсом.

В′яжучі властивості портландцементи проявляють в результаті процесів гідратації мініралів та утворення гідратних сполук. Новоутворені продукти спочатку мають гелеподібний стан, який переходить в кристалічній і зумовлює “склеювання” окремих часток та твердіння суміші.

Активність цементу залежить від мінерального та зернового складу і оцінюється марками по міцності М300; М400; М500; М550; М600. В позначення марки також вводять літеру Р – висока міцність в ранньому віці; ПЛ, ГФ – тобто пластифікація і гідрофобізація; Н – використання клінкеру нормованого складу; Ш – добавка шлаку до 20%. Тоді позначення марки набувають виду: ПЦ – 11/А-Ш-400Р-ГФ ДСТУ Б В.2.7-46-96

**3.5 Приклади розв'язання задач**

**1.** Скільки грудкового вапна можна отримати при випалюванні 100 т вапняку, який має вологість 5%, вміст глинистих і піщаних домішок по 10%?

**Рішення**. Маса сухого вапняку після випаровування води

І = 100 / (1-0,05) = 95 т.

З глинистих домішок Al2O3\*2SiO2\*2H2O, молекулярна маса яких 102+120+36, відбувається видалення хімічно зв'язаної води. Її вміст:

36 / (102+120+36) = 0,14,

де 102, 120, 36 – молекулярні маси Al2O3, 2SiO2, 2H2O.

Вміст у вапняку глинистих домішок після випаровування води:

І = 0,1·95 (1-0,14) = 8,17 т.

Вміст піщаних домішок у вапняку:

П = 0,1·95 = 9,5 т.

Маса чистого вапняку:

Іч = 95-(8,17 + 9,5) = 77,33 т.

Реакція розкладання вапняку:

CaCO3 = CaO + CO2.

Молекулярні маси речовин такі:

100 = 56+44.

Тобто, відповідно, вапняку, оксиду кальцію і двоокису вуглецю.

Маса вапна, виготовленого з 1 т CaCO3:

І1 = 1·56/100 = 0,56 т.

Маса чистого грудкового вапна з 77,33 т вапняку:

Ічгв = 0,56·77,33 = 43,304 т.,

де 77,33 – відсоток чистого вапняку.

Вихід грудкового вапна з урахуванням домішок:

І гв = 43,304 + 8,17 +9,5 = 60,974 т.

**2.** Який обсяг вапняного тіста буде отримано при гасінні 10 т негашеного вапна, якщо активність вапна (вміст СаО) 80%, вміст води в тісті 50%, середня густина вапняного тіста 1400 кг/м3?

**Рішення.** Виготовлення гашеного вапна відбувається по реакції:

СаО + Н2О = Са(ОН)2

Молекулярні маси речовин такі: 56+18=74.

При зазначеній активності вапна в хімічну реакцію з водою вступить 80% вапна:

І =10000·0,8 = 8000 кг

Домішки складуть:

П = 10000 - 8000 = 2000 кг

Тоді маса гідратного вапна Са(ОН)2 з урахуванням маси домішок дорівнюватиме:

Іг = (8000·74/56) +2000 =10571+2000 =12571 кг.

У вапняному тісті вапно і вода становлять по 50% маси.

Тоді маса тіста:

Іт =12571·2 = 25142 кг.

Об’єм вапняного тіста:

Vт = 25142/1400 = 17,96 м3.

**3.6 Задачі для самостійного розв’язування**

1. Скільки вийде негашеним гідратного вапна з 30 т вапняку з вмістом активної СаО 85% і природною вологістю 8%?

2. Проводиться випал 100 т вапняку, має вологість 9%, вміст глинистих домішок 6% і піщаних домішок 4%. Яка маса і сорт одержуваного грудкового вапна?

3. Скільки вийде вапняного тіста, що містить 50% води, з 2 т негашеного вапна, що має активність 80%?

4. Визначити по масі і за обсягом кількість вапняного тіста, що містить 60% води і отриманого з 3 кг негашеного вапна, активність якого 90%. Густина тіста 1420 кг/м3.

5. Визначити вихід сухого негашеного вапна з 20 т вапняку, який має вологість 6% і містить 5% глинистих домішок.

6. Скільки буде отримано гідратного вапна (пушонки) з 5 т кальцієвого негашеного вапна, що містить 88% активного СаО, якщо вологість гідратного вапна дорівнює 3,5%?

**3.3 Гіпсові в’яжучі**

**3.3.1 Задачі до практичного заняття**

**Визначення впливу водо потреби гіпсових в’яжучих на пористість гіпсового каменю та його можливої марки**

**Мета роботи:** за результатом розрахунків структури гіпсового каменю при різних величинах гіпсової потреби (нормальної густини) виявити залежність пористості від водопотреби в’яжучого.

*Виконання роботи:*

Гіпсові в’яжучі являють собою продукти теплового оброблення сировини (природного гіпсу) та послідуючого подрібнення до тонкодисперсного стану.

В залежності від параметрів технологічного процесу (температура, тиск) отримують будівельний гіпс (β-модифікація кристалічної решітки), високоміцний гіпс (α-модифікація) по схемі:

CaSO4·2H2O = CaSO4·0,5H2O + 1,5H2O

В залежності від типу кристалічної решітки кожен вид потребує різної кількості води замішування для отримання тіста нормальної густини (В/Г може бути більше 0,5 для будівельного гіпсу та менше 0,5 для високоміцного).

Після процесів гідратації та утворення гіпсового каменю надлишок води з гіпсового каменю випаровується, що призводить до утворення відповідної пористості та зменшення міцності каменю в залежності від дефектів.

На основі розрахунків утвореного об’єму тіста та маси цього об’єму з порами та без визначити середню густину, істину частину та пористість гіпсового каменю як результату фізико-хімічних процесів гідратації в’яжучого.

Вважати, що гідратна вода (приєднана до гіпсового в’яжучого, які загалом утворюють гіпсовий камінь) становить 18,6% від маси в’яжучого В/Г = 0,186.

**3.4 Задачі до практичного завдання**

**Мета:** Виявити вплив нормальної густини цементного в’яжучого, тобто В/Ц, надати пояснення такого впливу на міцність утвореного цементного каменю та запропонувати шляхи вирішення проблеми зменшення величини пористості.

1. Скільки напівводного гіпсу вийде після термічної обробки 20 т гіпсового каменю з вологістю 5%?

2. Назвати умовне позначення гіпсового в'яжучого з перерахованими далі показниками. Терміни тужавлення: початок 20 хв, кінець 120 хв. Залишок на ситі №002 - 12%. Міцність зразків-балочок розміром 40х40х160 мм у віці 2 год: на вигин 6,7 МПа, на стиск 19,8 МПа.

3. Нормальна густина гіпсового тіста дорівнює 59%. Скільки необхідно взяти гіпсу і води для отримання 10 кг гіпсового тіста нормальної густини?

4. Розрахувати пористість утвореного гіпсового каменю за показниками водогіпсового співвідношення (водогіпсової потреби) 40; 45; 50; 55; 60; 65%, істина густина гіпсового в’яжучого 2600…2750 кг/м3.

За результатами визначення побудувати графічну залежність в системі координат «В/Г-П» та зробити висновки.

5. Розрахувати пористість цементного каменю за показниками водоцементного відношення В/Ц 20; 24; 28; 32%. Побудувати графік залежності П від В/Ц. Надати пояснення. Істина густина цементних зерен ρЦ = 3100 кг/м3. Для розрахунків виконати вказівки 3.1.

1. **БЕТОНИ**

**Мета:** шляхом розрахування різних варіантів вмісту складових, зміна яких досягається використанням добавок та зміною водопотреби, знайти потрібні витрати в’яжучого для бетонів рівної міцності.

* 1. **Загальні положення**

Сучасні бетони характеризуються як такі, у яких вміст компонентів характеризуються як раціональний (правильно підібраний) і визначається відповідними розрахунками. Для підвищення міцності і зниження витрат в’яжучого та здешевлення бетону використовують пластифікування сумішей.

Розрахунки складу важкого бетону базуються на використанні рівняння основного закону міцності бетону:

 Rб = АRЦ($\frac{Ц}{В}$±0,5); (4.1)

Та рівня абсолютних об’ємів:

 Vб.с.= Vцем+Vn+Vk+Vводи (4.2)

В першому рівнянні наведена залежність міцності бетону (Rб) від якості заповнювачів (А), активності міцності, тобто марки (RЦ), кількості цементу (Ц), вмісту води (В).

В другому рівнянні показано, що об’єм бетонної суміші (Vб.с.) складають об’єми цементу (Vцем), піску (Vn), крупного заповнювача (Vk) та води.

Наведені рівняння використовують наступним чином.

Для початку розкриємо дужки.

 Rб = АRЦ $\frac{Ц}{В}$- 0,5АRЦ (для звичайної міцності); (4.3)

В цьому рівнянні величина Rб відома (задана проектом або замовленням). Коефіцієнт якості заповнювачів А- величина відома (0,65; 0,55; 0,50). Активність цементу RЦ або марка – величина відома (згідно ренкомендацій). Вміст води (В) – відомий згідно рекомендацій.

Звідси видно, що має місце рівняння з одним невідомим – вмістом цементу Ц. Це дозволяє знайти величину Ц шляхом розв’язування рівняння:

 $\frac{Ц}{В}= \frac{Rб-0,5АRЦ}{АRЦ}$ (4.4)

 Звідси Ц = В $\frac{Ц}{В}$ , кг. (4.5)

Використовуючи рівняння абсолютних об’ємів та шляхом відповідних перетворень маємо рівняння для визначення потрібної кількості крупного заповнювача:

 К = $\frac{1}{[\left(\frac{α}{ρ\_{н.к.}}\right)V\_{пуст}+\frac{1}{ρ\_{к}}]};$ (4.6)

В цьому рівнянні α-коефіціент розсунення зерен щебеню, так як між ними утворюється прошарок з цементного тіста. Величина коефіцієнту залежить від вмісту цементу та визнчається табличними данними або номограми.

Насипна густина щебеню визначається експериметально і для розрахунків може бути прийнята:

 $ ρ\_{н.к.}$ = … кг/м3; (4.7)

Величина густини щебеню ρк = 2600…2700 кг/м3.

Пустотність щебеню розраховують:

 П = [1 – ($\frac{Ц}{ρ\_{ц}}+ \frac{К}{ρ\_{к}}+ \frac{В}{ρ\_{в}})] ρ\_{п};$ (4.8)

де Ц, К, В – вміст цементу (Ц), щебеню (К), води (В), кг, які визначені попередніми розрахунками;

ρц, ρк, ρп, ρв – густина зерен цементу (3100 кг/м3), щебеню (2600…2700 кг/м3), піску (2600…2650 кг/м3), води (1000 кг/м3).

**4.2 Приклади розв'язання задач**

**1.** Номінальний склад цементного бетону (за об'ємом) виявився:

Vц: Vп: Vщ = 1:2,2:3,1 при В/Ц = 0,45. Скільки необхідно матеріалів для приготування 150 м3 бетону при витраті на 1 м3 бетону 390 кг цементу? Вологість піску 6% мас., щебеню 2% мас. Насипна густина цементу 1,3 т/м3; піску (в сухому) стані 1,6 т/м 3; щебеню (в сухому стані) 1,5 т/м3.

**Рішення**. Знаходимо об’єм цементу, що витрачається на 1 м3 бетону,

Vц = 390:1300 = 0,3 м3.

Об’єм сухого піску, що витрачається на 1 м3 бетону,

Vп = 0,3·2,2 = 0,66 м3.

Об’єм сухого щебеню

Vщ = 0,3·3,1 = 0,93 м3.

Витрата води при В / Ц = 0,45 на 1 м 3 бетону

В = 390·0,45 = 0,176 м3.

Витрата води при В / Ц = 0,45 на 150 м3 бетону

В = 0,176·150 = 26,4 м3.

Витрата цементу на 150 м3 бетону складе

Ц = 150·0,390 = 58,5 т.

Витрата піску з вологістю 6%

П = 150·0,66·1,6·1,06 = 167,9 т, в тому числі вологи 9,5 т.

Витрата щебеню з вологістю 2%:

Щ = 150·0,93·1,5·1,02 = 213,4 т, в тому числі вологи 4,2 т.

Всього вноситься води з наповнювачами

Вз = 9,5 + 4,2 = 13,7 т.

Витрата води на 150 м3 бетону

В = 26,4-13,7 = 12,7 т.

**2.** На бетонний завод переданий лабораторний склад бетону: Ц = 300, П = 650, Щ = 1300 кг, В = 150 л. Активність цементу R ц = 45 МПа. Наскільки знизиться міцність бетону, якщо не будуть враховані вологість піску 2% мас. і щебеню 3% мас.?

**Рішення**. Вміст води в щебені і піску:

Вп = П·W п = 630·0,02 = 13 кг; Вщ = Щ·W щ = 1300·0,03 = 39 кг.

Вміст води в бетоні в тому випадку, якщо не буде врахована вологість матеріалів,

В = 150 + (13 + 39) = 202 л.

Міцність бетону Rб при В/Ц ≥ 0,4 визначається за формулою:

Rб = АRц (Ц/В - 0,5).

Звідси співвідношення зменшеної міцності бетону, приготовленого на вологих заповнювачах Rбв до розрахункової міцності бетону на сухих заповнювачах, складе:

Rбв / Rб = $\frac{300/202-0,5 }{300/150-0,5}$ = 0,65.

Міцність бетону знизиться на 35%.

**3.** Підібрати склад бетону з наступних матеріалів:

- портландцемент (марки ПЦ400-Д-0 по ГОСТ Б8.2.7-46-96) з міцністю на розтяг при згині 6 МПа, істинною густиною 3100 кг/м3;

- гранітний щебінь з суміші фракцій: фракції 5…10 мм - 30%; фракції 10…20 мм - 70%; істинна густина 2600 кг/м3; насипна густина 1470 кг/м3; пустотність міжзернова 43,5%;

- пісок з модулем крупності 2,2, істинною густиною 2600 кг/м3;

- хімічні добавки ПАР: пластифікуюча добавка ЛСТ і повітровтягуюча добавка СНО.

**Рішення**. Згідно з вимогами ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги, для одношарового покриття на дорозі III технічної категорії в районі із середньомісячною температурою найхолоднішого місяця від -5 до -15°С повинен бути приготований бетон з маркою по морозостійкості F150, з мінімальним проектним класом по міцності на стиск В30, мінімальним проектним класом по міцності при розтягуванні при згині Btb 4.

Необхідну міцність бетону при розтягуванні при згині визначають за формулою нижче. При КТ = 1,28.

Rб = 1,28\*4 = 5,12 МПа.

Рухливість бетонної суміші повинна бути не більше 2 см, об'єм втягнутого повітря 5%.

Коефіцієнт розсунення зерен для середнього піску α = 1,8.

Розрахунок ведемо на 1 м3 (1000 л) бетонної суміші.

$\frac{В}{Ц}$ = $\frac{0,34Rц }{Rб+ 0,034Rц}$;

В / Ц = $\frac{0,034\*6}{5,12 + 0,034\*6 }$ = 0,38.

Це менше граничного значення В / Ц = 0,5.

Кількість води приймаємо 165 л.

Витрата цементу становить:

Ц = $\frac{В}{В/Ц }$ = 165 / 0,38 = 434 кг.

Витрата хімічних добавок при витраті ЛСТ = 0,2% і СНО = 0,01% від маси цементу складе:

ЛСТ = 0,002·434 = 0,868 кг;

СНО = 0,0001·434 = 0,0434 кг.

Вміст щебеню визначаємо за формулою

Щ = $\frac{1}{\frac{α}{ρщн}V\_{пуст}+\frac{1}{ρщ}}$ ;

Щ = $\frac{1}{1,8\frac{0,435}{1470}+\frac{1}{2600}}$ = 1089 кг.

Витрата піску складе

П = ρп [1000-(Ц/ρц + В + Щ/ρщ + Vв)],

де обсяг залученого повітря Vв = 0,05 м3 = 50 л.

П = 2600 [1-(384/3100 + 165 + 1089/2600 +0,05)] = 630 кг.

Визначений наступний номінальний склад бетонної суміші:

Ц / Ц: П / Ц: Щ / Ц = 1: 1,45: 2,5 при В / Ц = 0,38.

Розрахункова середня густина бетонної суміші становить

ρрm = (Ц + В + Щ + П) / Vбс = (165 + 434 + 1089 + 630) / 1 = 2318 кг/м3.

Виконати також розрахунок бетонної суміші при В/Ц = 0,4; В/Ц = 0,45; В/Ц=0,5.

**4.** Бетон на заповнювачах рядової якості у віці 14 діб показав граничну міцність на стиск R14 = 20,0 МПа. Визначити активність цементу, якщо водо-цементне відношення дорівнює 0,5.

**Рішення**. Гранична міцність при стисканні у віці 28 діб R28 обчислюється за формулою

R28 = Rn ·lg28 / lgn,

де n - час твердіння, діб.

При n = 14 діб;

R28 = R14·lg28 / lg14 = 20,0·1,447 / 1,146 = 25,25 МПа.

Міцність бетону при В/Ц ≥ 0,4 визначається за формулою: приймаємо А = 0,6 (заповнювачі рядової якості). Активність цементу визначаємо з формули:

Rц = $\frac{Rб}{А(Ц/В-0,5)}$ = $\frac{25,25 }{0,6\*(2-0,5) }$= 28,05 МПа.

**5.** Підібрати склад бетону класу В20 для масивної бетонної конструкції мосту, розташованої в підземній незатоплюваній зоні. Кліматичні умови району будівництва суворі. Марка бетону по морозостійкості F100, марка по водонепроникності W4. Середнє значення коефіцієнта варіації міцності бетону Vm за аналізований період склало 13,5%. Твердіння бетону в природних умовах при температурі повітря 15-20°С.

Матеріали для бетону:

- портландцемент активністю RЦ = 40МПа, істинною густиною 3100 кг/м3;

- гранітний щебінь з маркою по подрібнюваності М1200, істинною густиною 2640 кг/м3, вмістом пилоподібних і глинистих часток 2%. Щебінь має найбільшу крупність зерен 40 мм, складається з суміші фракцій: фракції 5-10 мм - 20%, 10-20 мм - 30%, 20-40 мм - 50% мас.;

- пісок природний середньозернистий з модулем крупності 2,2; істинною густиною 2620 кг/м3;

- хімічні добавки пластифікуюча «Релаксол» або ЛСТ і повітровтягуюча СНО. Густина добавки ЛСТ дорівнює 1730 кг/м3, СНО 1370 кг/м3.

**Рішення.** Визначаємо: 1) В/Ц бетону з добавками для масивної конструкції має бути не більше 0,6; 2) мінімальна витрата цементу повинна становити не менше 230, максимальна - не більше 450 кг/м3 бетону; 3) обсяг втягнутого повітря в бетонній суміші повинен складати (3,5 ± 1,5)%.

За табл. П.8.14 уточнюємо зерновий склад крупного заповнювача з урахуванням наявності фракцій. Вимоги до обмеження найбільшої крупності щебеню не висуваються, так як бетонна конструкція масивна.

Призначаємо витрати добавок (ЛСТ-0,2%, СНО-0,001% від маси цементу), обсяг втягнутого повітря 2%, осадку конуса 3 см (табл. П.8.5).

Розрахунок складу бетону ведемо на 1 м3 (1000 л) ущільненої бетонної суміші в наступному порядку.

Визначаємо необхідну міцність важкого бетону RТ по формулі при Vm = 13,5% (табл. П.8.3) і нормованої міцності Внорм = 20 МПа

R Т = 1,305·20 = 26,1 МПа.

Визначаємо В/Ц за формулою:

В/Ц = $\frac{0,45Rц }{Rт+ 0,18Rц}$;

В/Ц = 0,45·40 / (26,1 + 0,18·40) = 0,54.

Така величина менше граничного значення В / Ц = 0,6.

Встановлюємо по табл. П.8.15 витрати води в бетонній суміші при осіданні конуса ОК = 3 см і найбільшій крупності щебеню 40 мм. Витрата води дорівнює 160 л. Приймаємо витрата води 150 л, так як в бетонній суміші використовується пластифікуюча добавка.

Визначаємо витрати цементу: Ц = В / В/Ц = 150 / 0,54 = 278 кг.

Згідно табл. П.8.12 така витрата допустимо.

Визначаємо витрату хімічних добавок:

ЛСТ = 0,002·278 = 0,5560 кг;

СНО = 0,00001·278 = 0,0278 кг.

Знаходимо співвідношення маса/густина для суміші добавок за формулою:

Д / ρД = Д / ρД1 + Д / ρД2;

Д / ρД = 0,5560 / 1,73 + 0,0278 / 1,37 = 0,342.

Визначаємо абсолютний обсяг цементного тіста за формулою:

V т =$\frac{Ц}{ρц}$ + $\frac{Д}{ρд}$+ В;

V Т = 278 / 3,1 + 0,342 + 150 = 240,02 л.

Розраховуємо абсолютний об’єм наповнювачів за формулою:

VЗ = 1000-V Т;

VЗ = 1000-240,02 =759,98 л.

За табл. П.8.16 приймаємо для середньозернистого піску співвідношення між піском і щебенем r = П / Щ = 0,55.

Наведена густина суміші наповнювачів ρз складе:

ρз = $\frac{ρщ + ρпr}{1 + r}$;

ρз = (2,64 + 2,62·0,55) / (1 + 0,55) = 2,63 кг/л.

Розраховуємо витрати заповнювачів З за формулами:

З = П + Щ = VЗ.ρЗ;

Щ = З / (1 + r);

П = З - Щ.

З = 2,63·759,98 = 1998,7 кг;

Щ = 1998,7 / (1 + 0,55) = 1289,5 кг;

П = 1998,7-1289,5 = 709,2 кг.

Розрахункова середня густина бетонної суміші:

ρрm = 278 + 150 + 709,2 + 1289,7 = 2426,9 кг/м3.

Маємо такий номінальний склад бетонної суміші при r = 0,55 і ВЦ = 0,54:

Ц: П: Щ - (Ц / Ц: П / Ц: Щ / Ц) - 1: 2,55: 4,64.

**6.** Лабораторний склад бетону (на 1 м3): цементу - 360 кг, щебеню - 1330 кг, піску - 580 кг, води - 180 л. У виробничих умовах вологість піску складає 2%, щебеню 1,5% по масі. Визначити виробничий склад бетону.

**Рішення.** Виробничі витрати матеріалів з урахуванням вологості піску і щебеню:

Ц пр = 360 кг;

П пр = П (1 + $\frac{Wп}{100}$) = 580 (1 + 0,02) = 592 кг;

Щпр = Щ (1+$\frac{Wщ}{100}$) = 1330 (1+ 0,015) = 1330 (1+ 0,015) = 1350 кг;

Впр= В – ( $\frac{П\*Wп+Щ\*Wщ}{100}$ ) = 180 - $\frac{580\*2+1330\*1,5}{100}$ = 180 – 52 = 128 л.

**7.** Для бетону класу В20 використовують портландцемент з активністю 37,5 МПа, середньозернистий пісок з водопотребою 7%, щебінь крупністю до 40 мм. Середнє значення коефіцієнта варіації міцності бетону в партії Vm= 13,5%. Обчислити необхідну міцність бетону і витрата цементу при рухливості бетонної суміші 4 см.

**Рішення**. Необхідну міцність бетону розраховують за формулою. Коефіцієнт необхідної міцності визначаємо за табл. п.8.3. Нормована міцність бетону Внорм = В = 20 МПа.

Необхідна міцність бетону:

R Т = КТ·Внорм = 1,3·20 = 26 МПа.

Визначаємо водо-цементне співвідношення, використовуючи рівняння основного закону міцності бетону:

Rб = АRц (Ц / В - 0,5) при В / Ц ≥ 0,4;

R б = АRц (Ц / В + 0,5) при В / Ц <0,4.

Приймаємо значення коефіцієнтів А = 0,6 і А1 = 0,4, так як наповнювачі рядові, що задовольняють вимогам відповідних стандартів (табл. П.8.6).

В / Ц = $\frac{АRц}{Rб+0, 5ARц}$ = 0,6·37,5 / (26 + 0,5·0,6·37,5) = 0,60;

 В / Ц = $\frac{АRц}{Rб-0, 5ARц}$ = ARц = 0,6 ·37,5 / (26-0,5·0,4·37,5) = 0,81.

Другий результат не відповідає граничним умовам. Приймаємо В/Ц = 0,60.

Встановлюємо по табл.П.8.7 витрата води для ОК = 4 см.

В = 175 л.

Визначаємо витрату цементу:

Ц =$\frac{В}{В / Ц }$ = 175 / 0,60 = 292,5 кг.

**8.** Необхідна міцність бетону і легкоукладальність бетонної суміші отримані при В / Ц = 0,50 і витраті цементу 300 кг/м3. При введенні в бетонну суміш пластифікуючої добавки ЛСТ в кількості 0,2% від маси цементу така ж легкоукладуваність досягнута при В / Ц = 0,48. Наскільки зменшиться витрата цементу при введенні ЛСТ, якщо міцність бетону залишити без змін?

**Рішення.** При введенні добавки ЛСТ витрата води

В = 0,48·300 = 144 л/м3.

Щоб зберегти колишню міцність бетону, необхідно залишити В/Ц = 0,50, тоді

Ц = В / 0,50 = 144 / 0,50 = 288 кг.

Зниження витрати цементу ∆Ц = 300 - 288 = 12 кг.

**4.2. Задачі для самостійного розв’язання**

1. Маса проби сухого піску перед відмулюванням дорівнювала 1000 г, а після відмулювання висушений пісок мав масу 928 г. Чи придатен цей пісок для бетону згідно ….?

2. Як зміниться обсяг 1 м3 піску при його зволоженні до 5 і 28%? Насипна густина сухого піску складає 1450 кг/м3, а при вологості 5% - 1260 кг/м3 і 28% - 2180 кг/м3.

3. Для важкого бетону двох складів використаний портландцемент з активністю Rц = 40 МПа при В / Ц = 0,50 і В / Ц = 0,37. Побудувати графіки впливу якості заповнювачів на міцність бетону (високоякісних, рядових і зниженого якості).

4. Як знизиться міцність бетону на стиск, якщо в виробничих умовах не буде врахована вологість щебеню 2%, вологість піску 3%. Лабораторний склад бетону наступний (кг/м3): Ц = 380; П = 610; Щ = 1250; В = 190.

5. Для приготування важкого бетону з міцністю Rб=20 МПа застосовано портландцемент з активністю Rц = 34 МПа і наповнювачі середньої якості. Розрахувати В / Ц в даному бетоні.

6. Якою буде міцність бетону, приготованого з портландцементу з активністю Rц = 44 МПа і заповнювачів високої якості при В / Ц = 0,65?

7. Якою активністю портландцемент слід використати, щоб отримати бетон з міцністю Rб = 20 МПа на заповнювачах низької якості при В / Ц = 0,58?

8. Скільки кг портландцементу при його активності Rц = 31,2 МПа необхідно витратити на 1 м3 бетону з міцністю Rб = 15МПа при заповнювачах середньої якості, якщо витрата води на 1 м3 бетону становить 185 л?

9. Фундамент з бетону з міцністю Rб = 20 МПа має форму правильного паралелепіпеда з довжиною ребер 4,0х6,0х2,0 м. Скільки потрібно портландцементу для виготовлення цього фундаменту, якщо активність цементу Rц = 38,5 МПа, заповнювачі - середньої якості, а витрата води на 1 м3 бетону дорівнює 170 л?

10. Плоска залізобетонна плита покриття, яка формуються на віброплощадці, повинна бути виготовлена ​​з бетону класу В20. Середнє значення коефіцієнта варіації міцності бетону в партії Vm = 7,5%. Бетон складається з шлакопортландцементу з активністю Rц = 42,5 МПа, піску дрібнозернистого, щебеню вапнякового з граничною крупністю 40 мм, марка по подрібнюванні 1000. Визначити необхідну міцність бетону і розрахувати витрати цементу на 1 м3 такого бетону.

11. Скільки кубічних метрів щебеню буде витрачено на бетонування покриття дороги площею 2500 м2 товщиною 15 см, якщо насипна ггустина щебеню дорівнює 1380 кг/м3, середня густина дорівнює 2640 кг/м3, істинна густина 2700 кг/м3, а коефіцієнт розсунення зерен щебеню дорівнює 1,15?

12. Розрахувати склад бетонної суміші для бетонування монолітної залізобетонної колони діаметром 0,7 м, висотою 3 м при наявності таких складових: середня міцність бетону при стисненні Rб=25МПа; портландцемент з активністю Rц = 43 МПа; пісок річковий чистий (Мкр = 2,6; істина густина 2640 кг/м3; насипна густина 1600 кг/м3); щебінь гранітний (з граничною крупністю зерен 40 мм, істинна густина 2700 кг/м3; насипна густина 1470 кг/м3). Ущільнення бетону проводиться вібратором.

13. Номінальний склад важкого бетону по масі був Ц:П:Щ =1:1,9:4,1 при В/Ц = 0,45. При пробному замісі в лабораторії середня густина бетону виявилася рівною 2235 кг/м3. Визначити витрату матеріалів на 1 м3 бетону при вологості піску 4%, щебеню 1%.

14. Номінальний склад цементного бетону (за об’ємом) виявився Ц:П:Щ = 1:2,2:3,1 при В / Ц = 0,45. Скільки необхідно матеріалів для приготування 150 м3 бетону при витраті на 1 м3 бетону 390 кг цементу? Вологість піску 6%, щебеню 2%. Насипна густина цементу 1300 кг/м3; піску (в сухому стані) 1600 кг/м3; щебеню (в сухому стані) 1500 кг/м3.

15. Визначити витрату матеріалів на один заміс бетономішалки ємністю 300 л, якщо витрата матеріалів на 1 м3 бетону дорівнює: Ц = 320 кг, П = 640 кг, Щ = 1280 кг, В = 160 л, а вологість піску 3%, щебеню 1%, насипна густина цементу - 1200; щебеню - 1400; піску - 1200 кг/м3.

16. Були випробувані три зразки кубика з пінобетону різної щільності з розміром ребра 7,07 см кожен. Перший кубик мав масу 483 г і показав межу міцності при стисненні 4,9 МПа, другий кубик відповідно 210 г та 3,0 МПа, а третій 152г і 2,2МПа. Показати (графічно) залежність межі міцності пінобетону при стисканні від його пористості, приймаючи істинну густину пінобетону рівній 2800 кг/м3.

17. Визначити міцність бетону при Ц/В = 2,5, якщо при Ц/В = 2,0 була отримана міцність бетону 40,0 МПа.

18. Для важких бетонів з міцністю 20 і 30 МПа на заповнювачах високої якості застосований портландцемент з активністю Rц = 40 МПа. Витрата води в бетонах склав 196 л/м3, В / Ц ≥ 0,4. Визначити витрати цементу для бетонів.

19. Обчислити міцність бетону (МПа) і побудувати графік функції R б = *f* (Ц / В) при цементі марки ПЦ 400-Д-5, заповнювачах рядової якості і В / Ц, рівних 0,4; 0,5; 0,6; 0,8.

20. Обчислити міцність бетону (МПа) і побудувати графік функції R б = *f* (R ц) при активності цементу 20,0; 25,0; 35,0; 50,0; 65,0 МПа, В / Ц = 0,56 і заповнювачах рядової якості.

21. Розрахувати необхідну В / Ц при отриманні бетону з міцністю через 90 діб - 40,0 МПа: цемент має активність 40 МПа, заповнювачі рядової якості.

22. Два піску з приблизно однаковим модулем крупності мають істинну густину 2640 кг/м3 і насипні густини 1640 і 1520 кг/м3. Який з цих пісків краще в якості дрібного заповнювача для бетону і чому?

23. При однаковій активності цементу і матеріалах рядової якості в рівнорухомих складах суміші витрата цементу №1 був 270кг, а №2 - 300 кг/м3. Визначити витрату води для бетону №2, якщо витрата води для бетону №1 - 180 л/м3; міцність бетону №1 - 20 МПа; №2 - 32 МПа.

24. Визначити склад бетону для будівництва основи автомобільної дороги в районі із середньомісячною температурою найхолоднішого місяця нижче -15°С. Будівництво ведеться бетоноукладальними машинами. Показник рухливості бетонної суміші ОК = 2…4 см. Обсяг залученого повітря 5%. Середнє значення коефіцієнта варіації міцності бетону Vm за аналізований період склало 10,5%. Для виготовлення бетонної суміші використовують такі матеріали:

- портландцемент ПЦ II / А-Ш 32,5 Н ДСТУ з міцністю при розтягуванні при згині 5,5 МПа, істинної густини 3100 кг/м3;

- гранітний щебінь складається з суміші фракцій: фракції 5…10 мм -30%; фракції 10…20 мм - 70%; має істинну густину 2650 кг/м3; насипну густину 1480 кг/м3; пустотність міжзернову 44%;

- пісок природний дрібний з модулем крупності 1,8, водопотребою 9%, істинною густиною 2630 кг/м3, насипною густиною 1400кг/м3;

- повітровтягуюча добавка СНО - 0,002% від маси цементу. Твердіння бетону в природних умовах.

25. Визначити склад бетону класу В25 для залізобетонної конструкції моста, розташованої в зоні змінного рівня води. Кліматичні умови району будівництва суворі. Показник рухливості бетонної суміші ОК = 4 см. Об'єм залученого повітря 3%. Для виготовлення бетонної суміші використовують такі матеріали: портландцемент з активністю Rц = 45 МПа, істинної густини 3100 кг/м3; пісок річковий чистий (Мк = 2,6; істинна густина 2640 кг/м3); щебінь гранітний з маркою по подрібнюваністю М1200, істинної густини 2700 кг/м3, складається з суміші фракцій: фракції 5…10 мм - 30%; фракції 10…20 мм - 70%. Пластифікуюча добавка суперпластифікатор С-3 - 0,5% від маси цементу. Густина С-3 дорівнює 1730 кг/м3.

26. При введенні в бетонну суміш для отримання бетону класу міцності В20 суперпластифікатора С-3 в кількості 0,5% можна (при збереженні тієї ж міцності бетону) і рухливості бетонної суміші знизити витрату води на 1 м3 бетону з 180 до 160 л. Водо-цементне відношення в бетоні 0,5, наповнювачі високоякісні. Скільки цементу можна заощадити на 1 м3?

* 1. **Визначення впливу вмісту та якості окремих компонентів на витрати цементу та міцність бетону**

Розв’язування наступних завдань виконувати до поставлених умов та з використанням вищенаведених залежнсотей (4.1…4.8).

**Завдання 4.3.1.** Використовуючи залежності 4.4 і 4.5 розрахувати витрати цементу М400 для виготовлення бетону міцністю В20 (200 кгс/см2 або М200), якщо будуть використані заповнювачі фракціоновані, і миті (А=0,65), фракціоновані не миті (А=0,55), рядові (А=0,50). Згідно проекту (замовлення) бетонна суміш має бути рухливістю 3…5 см, що визначає витрати води згідно таблиці 170 кг для щебеню фракції 40 мм.

Знайдені розрахункові показники вмісту представити графічною залежністю системи координат «якість заповнювачів – витрати цементу».

Зробити висновки.



Рис.4.1 Залежність витрат цементу від якості заповнювачів

**Задача 4.3.2.** Розрахувати потрібний вміст цементу для виготовлення бетону міцністю 20 МПа (200 кгс/см2, М200), якщо для його виготовлення використано митий не фракціонований щебінь, потрібна рухливість має становити 3…5 см, але марка цементу може бути М300, М400, М500.

Визначені залежності вмісту цементу від його марки представити у графічному вигляді в системі координат «марка цементу – витрати цементу» (рис.4.2) подібно до рисунку 4.1.

Зробити висновки.

**Завдання 4.3.3.** Розрахувати, як зміниться міцність бетону, якщо змінювати використання якості щебеню? Змінювати марку цементу?

Для розрахунків скористатися залежностями 4.3, в яких невідомою величтиною буде Rб (міцність бетону), відомими по черзі будуть змінюватись величини А (0,5; 0,55; 065), потім розрахувати при зміні витрат цементу (220 кгс/м3, 270 кгс/м3, 320 кгс/м3), потім вплив зміні марки цементу (М300, М400, М500).

Результати оформити у вигляді графічних залежностей в системі координат «якість заповнювачів – міцність бетону» (рис.4.2…4.5) тобто схему побудуйте самостійно.

1. **БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ**

**Мета:** навчитися розраховувати склад будівельного розчину у відповідності до наданих характеристик складових.

**5.1. Загальні відомості**

Вимоги до сучасних будівельних розчинів пов’язані з необхідністю їхнього виготовлення у відповідності до призначення та оптимальних витрат в’яжучої речовини. Реалізуються названі умови відповідними розрахунками.

**5.2. Приклади розв'язання задач**

**1.** Встановити витрати матеріалів на 1м3 вапняного розчину складу Sит:Sп = 1:4 за об’ємом за умови, що вапняне тісто і готовий розчин не мають пустот, а міжзернова пустотність піску Ппмз = 40%; В/В = 0,8 (вода : вапно).

**Рішення.** Обсяг вапняного розчину Vір в абсолютнощільному стані:

Vір = Sит + Sп (1 - Ппмз) = 1 + 4 (1-0,4) = 3,4 м3,

де Sит і Sп - об'ємні частки вапняного тіста і піску відповідно.

Коефіцієнт виходу розчину:

β = Vір / (Sит + Sп) = 3,4 / (1 + 4) = 0,68.

Витрата вапняного тіста на 1 м3 розчину

Vит = Sит / β (Sит + Sп) = 1 / 0,68 (1 + 4) = 0,29 м3.

Витрата піску:

Vц = 4·0,29 = 1,16 м3.

Витрата води: Vв = 0,29·0,8 = 0,232 м3, або Vв = 232 л.

**2.** Розрахувати витрати матеріалів на 1 м3 цементного розчину складу Sц: Sп = 1: 3 за об'ємом, якщо В / Ц = 0,6. Міжзернова пустотність піску Ппмз = 42% об., насипна густина цементу ρцн = 1300 кг/м3, міжзернова пустотність цементу Ппмз = 50% об. Витрату цементу визначити за масою і об’ємом, піску - за об’ємом.

**Рішення.** Обсяг розчину в абсолютно щільному стані:

Vр = S ц + S п + S в = S ц (1- Ппмз) + S п (1- Ппмз) + (В / Ц)·Ц =

 = 1·0,5 + 3·0,58 + 0,6·1 = 2,84 м 3.

Коефіцієнт виходу розчину:

β = Vр / (S ц + S п) = 2,84 / (1 + 3) = 0,71.

Витрата цементу:

Vц = 1 / [β (Sц + Sп)] = 1 / [0,71 (1 + 3)] = 0,352 м3,

або Ц = ρнц Vц = 1300·0,352 = 458 кг.

Витрата піску: Vп = 3Vц = 3·0,352 = 1,056 м3.

Витрата води: Vв = Ц (В / Ц) = 458·0,6 = 274,8 л.

**3.** Розрахувати кількість матеріалів для приготування 1 м3 цементно-вапняного розчину складу Sц: Sит: Sп = 1:0,6:4 за об'ємом. Міжзернова пустотність цементу Пцмз = 48%, вапняне тісто без пустот, міжзернова пустотність піску Ппмз = 36%, істинна густина цементу ρц = 3100 кг/м3, насипна густина цементу ρцн = 1300 кг/м3, ρитm = 1400 кг/м3. Водов’яжуче відношення В / В = В / (Ц + ВТ) = 0,6.

**Рішення.** Об’єм розчину в абсолютно щільному стані:

Vр = Sц (1-Пцмз) + Sит + Sп (1-Ппмз) + Sв =

= 1·(1-0,48) + 0,6 + 4·(1-0,36) + 0,6 = 4,28 м3.

Коефіцієнт виходу розчину:

β = Vр / (Sц + SІ.Т + Sп) = 4,28 / (1 + 0,6 + 4) = 0,76.

Витрата цементу:

Vц =$\frac{Vр}{β\*(Sц + Sіт + Sп) }$ =$\frac{1}{0,76 (1 + 0,6 + 4)}$ = 0,235 м3;

Ц = 0,235·1300 = 305 кг.

Витрата вапняного тіста:

Vит = 0,235·0,6 = 0,141 м3; ІТ = 0,141·1400 = 197 кг.

Витрата піску:

Vп = 0,235·4 = 940 м3.

Витрата води:

Vв = $\frac{В }{Ц + ІТ}$ (Ц + ІТ) = 0,6 (305 + 197) = 301 кг (л).

**4.** Проводиться наземне мурування стін будівель при нормальній вологості повітря. Для приготування розчину марки М150 використаний шлакопортландцемент з активністю Rц = 40 МПа. Насипна густина цементу ρцн = 1200 кг/м3. Пластифікуюча добавка - вапняне тісто із середньою густиною ρmит = 1400 кг/м3. Пісок природний має насипну густину ρпн = 1400 кг/м3 при вологості W = 2%. Знайти склад розчину.

**Рішення.** Витрата цементу на 1 м3 піску визначаємо за формулою при k = 0,88

Ц =$\frac{Rp}{kRц}$ 1000 = 15·1000 / 0,88·40 = 426 кг,

або Vц = Ц / ρпн = 426/1200 = 0,355 м3.

Витрата вапняного тіста на 1 м3 піску визначається за емпіричною формулою:

Vит = 0,17 (1 - 0,002·426) = 0,025 м3;

ІТ = Vит ρитm = 0,025·1400 = 35 кг.

Витрата піску:

П = ρпн Vп = 1400·1 = 1400 кг.

Вміст води в піску:

Вп = W·П / 100 = 0,02·1400 = 28 кг.

Витрата сухого піску:

Пс = 1400 - 28 = 1372 кг.

Склад розчину на 1 м3 піску по масі: цементу 426 кг, вапняного тіста 35 кг, піску з 2% -ною вологістю 1400 кг.

Номінальний склад розчину за масою:

$\frac{426}{426}$:$\frac{35}{426}$:$\frac{1372}{426}$ = 1: 0,08: 3,2.

**5.** Склад розчину 1:0,6:5 (цемент: вапняне тісто: пісок). Насипні щільності цих матеріалів - 1300, 1400, 1450 кг/м3. Знайти витрату матеріалів на один заміс розчинозмішувача об'ємом Vсм=250л.

**Рішення**. Сума складових частин розчину:

S = 1 + 0,6 + 5 = 6,6.

Витрата цементу:

Vц = Vсм 1/6,6 = 250 / 6,6 = 37,8 л; Ц = 37,8·1,3 = 49,14 кг.

Витрата вапняного тіста:

Vит = Vсм 0,6 / 6,6 = 250·0,6 / 6,6 = 22,6 л; ІТ = 22,6·1,4 = 31,6 кг.

Витрата піску:

Vп = Vсм 5 / 6,6 = 250·5 / 6,6 = 189 л; П = 189·1,45 = 274 кг.

Витрати води встановлюють орієнтовно за формулою, перевіряючи потім на пробному замісі:

В = 0,65 (Ц + ІТ) = 0,65 (49,14 + 31,6) = 52,48 кг (л).

**5.3. Задачі для самостійного розв’язання**

1. Розрахувати витрати матеріалів на 1 м3 цементного розчину складу 1:5 за об'ємом за умови, що в готовому розчині немає пустот, міжзернова порожнинність піску 40%, цементу 52%, В/Ц = 0,65.

2. Є цементно-глиняний розчин складу 1:0,5:5. Міжзернова пустотність цементу 52%, глиняне тісто не містить пустот, міжзернова пустотність піску 40%, істинна густина цементу 3100 кг/м3. Витрата води - один об’єм по відношенню до в'яжучого (цемент + глиняне тісто). Встановити витрату матеріалів на 1м3 розчину.

3. Розчин марки М200 застосований для наземної кладки стін будівель. В'яжуче - портландцемент марки ПЦ400 з насипною густиною 1300 кг/м3, пластифікуюча добавка - вапняне тісто із середньою густиною 1400 кг/м3. Використати пісок з насипною густиною 1450 кг/м3 при вологості 5%. Знайти склад розчину.

4. У розчині використовується пуцолановий портландцемент з активністю 30 МПа, пластифікуюча добавка - глиняне тісто із середньою густиною 1350 кг/м3. Рухливість розчину 4 - 6 см. Розрахувати кількість матеріалів для приготування 1 м3 розчину марки М7,5 із середньою густиною 1450 кг/м3.

**6. Органічні В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ**

Мета: Вивчення матеріалів й виробів з органічних в’яжучих речовин та їх властивостей.

**6.1. Загальні відомості**

Органічні в'яжучі матеріали є складними сумішами низько-, середньо- та високомолекулярних вуглеводневих сполук і їх неметалевих похідних, що змінюють свої фізико-механічні властивості залежно від співвідношення сполук і температури.

До органічних в'язких матеріалів відносяться бітумні і дьогтьові матеріали: бітуми природні і нафтові, бітумні емульсії, бітумно-полімерні в'яжучі, кам'яновугільні дьогті. Найбільше застосування в будівництві мають нафтові бітуми, які отримують в результаті переробки важких нафтових залишків: гудронів, мазутів, асфальтів деасфальтизації, крекінгозалишків, екстрактів селективного очищення масляних фракцій.

У відповідності до складу та властивостей області застосування в будівництві нафтові бітуми діляться на дорожні ДСТУ Б В.2.7-313:2016 (ГОСТ 22245-90\*, ГОСТ 11955-82\*), будівельні (ГОСТ 6616-76\*), покрівельні (ГОСТ 9548-74\*).

Нафтові дорожні бітуми підрозділяються на в'язкі і рідкі. Основні характеристики властивостей в'язких дорожніх бітумів наступні: умовна в'язкість (пенетрація) і розтяжність при температурі 0 і 25°С; температура розм'якшення, температура крихкості, температура спалаху, зміна температури розм'якшення після нагрівання, індекс пенетрації. За фізико-механічними властивостями в'язкі дорожні бітуми підрозділяються на марки (табл. П.9.1, п.9.2).

Залежно від групового складу і структури в'язкі бітуми при однаковій умовній в'язкості можуть мати різну теплостійкість, когезию, адгезію, динамічну в'язкість, стабільність в часі. Температурну залежність бітумів характеризує індекс пенетрації.

Індекс пенетрації (ІП) визначають за таблицею, наведеною в ГОСТ 22245-90\*, або обчислюють за формулою

ІП = $\frac{30}{1 + 50А}$ - 10, (6.1)

де

А = $\frac{2,9031- logП}{Т-25 }$; (6.2)

П - глибина проникнення голки при 25°С, 0,1 мм; Т - температура розм'якшення, °С.

Бітум з індексом пенетрації менше -2 має більш високу погодостійкість, характеризується більш низькою температурою розм'якшення і більш високою температурою крихкості. Бітум з індексом пенетрації більш +2 менш погодостійкі, має більш високу температуру розм'якшення і більш низьку температуру крихкості. Найбільш широко в дорожньому будівництві застосовуються бітуми з індексом пенетрації від - 1,5 до +1. Зміна температури на ці бітуми чинить менший вплив, вони мають меншу крихкість і зберігають в’язкопружні властивості при низьких температурах.

Структурно-реологічний тип бітуму можна визначити за допомогою коефіцієнта Кстр, запропонованого В.А. Золотарьовим:

 Кстр = (Тр - Тхр) / Д25, (6.3)

де Тр і Тхр - температури розм'якшення і крихкості, °С; Д25 - розтяжність при 25 °С, см.

Про ступінь придатності бітумів до різних умов експлуатації судять по інтервалу працездатності ІР:

 ІР = Т р - Т хр. (6.4)

Бітуми з ІП ​​більш +2,0, Кстр ≥1,1 і ІР більше 70°С відносяться до першого структурно-реологічного типу (структура гель). Вони мають широкий інтервал працездатності, в якому бітум володіє упругов’язкими властивостями, велику теплостійкість.

Бітуми з ІП ​​менш -2,0; Кстр ≤ 0,65 і ІР менше 60°С утворюють другий тип (структура золь) з вузьким інтервалом працездатності та малої теплотривкістю.

Бітуми, що мають -2 < ІП <+2, Кстр = 0,65-1,1; ІР = (60…70)°С, являють собою безперервний ряд бітумів перехідного типу з проміжними властивостями, тобто бітуми третього структурнореологічного типу (структура золь-гель).

Рідкі бітуми отримують найчастіше компаундируванням (змішуванням) в'язких бітумів з різними розчинниками та розріджувачами (гасом, дизельним паливом та іншими нафтопродуктами). Залежно від швидкості загущення (швидкості формування структури), яка є функцією виду, якості і кількості розріджувачів, рідкі бітуми діляться на два класи:

- густіючі із середньою швидкістю, виготовлені розчиненням в'язких дорожніх бітумів рідкими нафтопродуктами (СГ);

- одержувані розчиненням в'язких дорожніх бітумів рідкими нафтопродуктами (МГ) і з залишкових або частково окислених нафтопродуктів або їх сумішей (МГО).

Відповідно до вимог ГОСТ 11955-82 \* якість рідких дорожніх бітумів оцінюють умовною в'язкістю, кількістю випарувався розріджувачів, температурою розм'якшення залишку після визначення кількості випарованого розріджувача, температурою спалаху, зчепленням (адгезію) з мармуром і піском (табл. П.9.3, П. 9.4).

Емульсія бітумна дорожньо-дисперсна система, в якій одна рідина (дисперсна фаза) у вигляді дрібних крапель розміром 1…10 мкм дисперговані в іншої рідини (дисперсійному середовищі), що не змішується з нею. У дорожніх емульсіях дисперсною фазою є органічний в'яжучий матеріал бітум або полімерно-бітумне в'яжуче, дисперсійним середовищем - вода. Для додання стійкості емульсії в її склад вводять емульгатор. Емульгатор - поверхнево-активна речовина (ПАР), що активує процес диспергування бітуму і забезпечує стійкість емульсії від розпаду на стадії зберігання і транспортування.

Емульсії отримують двох типів: прямі і зворотні. У прямих емульсіях дисперсійним середовищем є вода, а дисперсною фазою бітум. У зворотних емульсіях дисперсійним середовищем є бітум, а дисперсною фазою вода. У дорожньому будівництві застосовують прямі емульсії.

За ГОСТ Р 52128-2003 бітумні (Б) і бітумно-полімерні (БП) емульсії класифікуються за декількома принципами:

1) в залежності від хімічної природи емульгатора: катіонні (ЕБК, ЕБПК), аніонні ЕБА, ЕБПА;

2) по стійкості при перемішуванні і з мінеральними матеріалами: швидкорозпадаючі (ЕБК-1, ЕБПК-1, ЕБА-1, ЕБПА-1), средньорозпадаючі (ЕБК-2, ЕБПК-2, ЕБА-2, ЕБПА-2) і повільнорозпадаючі (ЕБК-3, ЕБПК-3, ЕБА-3, ЕБПА-3).

Вимоги до емульсій: стійкість при перемішуванні із сумішами мінеральних матеріалів, вміст в'яжучого з емульгатором, умовна в'язкість, зчеплення з мінеральними матеріалами, залишок на ситі № 014, стійкість при зберіганні і транспортуванні, а також фізико-механічні властивості залишку після випаровування води з емульсії.

**6.2. Приклади розв'язання задач**

**1.** Який нафтовий дорожній бітум більш придатний для використання в асфальтобетоні в районах з континентальним кліматом: а) з температурою розм'якшення 55°С і температурою крихкості -15°С; б) з температурою розм'якшення 48°С і температурою крихкості -17°С?

**Рішення.** Щоб судити про ступінь придатності бітуму до експлуатації в умовах континентального клімату, слід визначити його інтервал роботопридатності за формулою (6.4):

ІРа = 55 - (-15) = 70°С;

ІРб = 48 -(-17) = 65°С.

Як видно з отриманих результатів, бітум з індексом «а» має більший ІР. Такий бітум більш придатний до експлуатації в умовах континентального клімату, що характеризується високими позитивними температурами в літній час і низькими негативними взимку.

**2.** До якого структурно-реологічних типу відноситься бітум, що має температуру розм'якшення 45°С, температуру крихкості 18°С і розтяжністю 65 см при температурі 25° С?

**Рішення.** Орієнтовно структурно-реологічний тип бітуму можна визначити за формулою (6.3):

Кстр = 45-(-18) / 65 = 0,97.

Оскільки коефіцієнт Кстр знаходиться в інтервалі від 0,65 до 1,1, даний бітум третього структурно-реологічного типу.

**3.** З двох бітумів: а) з пенетрацією при 25°С 235\*0,1мм і температурою розм'якшення 43°С; б) з пенетрацією при 25°С 165\*0,1мм і температурою розм'якшення 41°С - вказати бітум, який характеризується більшою теплостійкістю.

**Рішення.** За формулами (6.1) і (6.2) обчислюємо індекси пенетрації бітумів:

Аа = (2,9031 - log235) / (43-25) = 0,0296;

Аб = (2,9031 - log165) / (41- 25) = 0,0464;

ІПа = 30 / (1 + 50\*0,0296) - 10 = +2,1;

ІПб = 30/(1+ 50\*0,0464)-10=-0,96.

Бітум з індексом «а» характеризується більш високою теплостійкістю.

**4.** Визначити орієнтовну динамічну в'язкість в'язкого бітуму з пенетрацією 55\*0,1 мм при 25°С.

**Рішення.** Для орієнтовного розрахунку динамічної в'язкості ηн можна застосувати формулу Зааля, скориговану з урахуванням вимог СІ:

 ηн = 1,58\*109 / П2,1625, (6.5)

де П25 -пенетрація бітуму при температурі 25°С.

Тоді

ηн = 1,58\*109/552,16 = 1,58\*109/5750 = 2,72\*105 Па\*с = 275 кПа\*с.

Для обчислення знаменника використано співвідношення:

lg552,16 =2,16lg 55=2,16\*1,74=3,76 і по логарифму знайдено число 5760.

**5.** Індекс пенетрації бітуму дорівнює -1,5, температура його розм'якшення становить 35°С. Визначити умовну в'язкість бітуму.

**Рішення.** Скористаємося наведеної в ГОСТ 22245-90 \* таблицею або формулами (6.1), (6.2). Даний бітум має глибину проникнення голки П25 = 250\*0,1 мм.

**6.** Скільки буде потрібно витратити теплоти (без урахування втрат) для нагріву 10 т бітуму в бітумоплавильної котлі з 90 до 150°С, якщо питома теплоємність бітуму 0,9 кДж/(кг\*°С)?

**Рішення**. Визначаємо витрати тепла за формулою:

 Q = БСб (t2 - t1), (6.6)

де Q - кількість тепла, Дж; Б - маса бітуму, кг; Сб - питома теплоємність бітуму, кДж / (кг°С); t1, t2 - температура бітуму, °С.

Звідси Q = 10000\*0,9 (150-90) = 540 000 кДж.

**7.** До якого класу за швидкістю загустіння відноситься рідкий бітум, якщо при дотриманні в вакуум-термостаті з нього за 2 год при температурі 100°С випарувалося 9% розріджувачів? Назвати марку бітуму.

**Рішення.** Згідно ГОСТ 11955-82\* (табл. п.9.3) бітуми класу СГ протягом 2ч витримують в вакуум-термостаті при температурі 100°С. З бітуму марки СГ 40/70 має випаровуватися не менше 10% розріджувачів, з бітуму СГ 70/130 - не менше 8%. Таким чином, даний бітум має марку СГ 70/130.

**8.** Визначити вміст в емульсії бітуму з емульгатором, якщо маса випарювальної чашки зі скляною паличкою 162 г, маса чашки з паличкою і емульсією (до випарювання) 189,7 г, маса чашки з паличкою і залишком після випаровування води з емульсії 176,2 м.

**Рішення.** Використовуємо формулу, наведену в ГОСТ Р 52128-2003:

 М = $\frac{m3-m1}{m2-m1}$ 100, (6.7)

де М - вміст в емульсії бітуму з емульгатором, %; m1 - маса чашки з паличкою, г; m2 - маса чашки з паличкою і емульсією, г; m3 - маса чашки з паличкою і залишком після випаровування води з емульсії, г.

В результаті вміст бітуму з емульгатором:

М = $\frac{176,2-162}{1889,2-162 }$100 = 51,2%.

**9.** Маса сита № 014 і чашки в сухому стані 271,5 г, маса сита з залишком катіонної емульсії і чашкою після висушування в термостаті і охолодження в ексикаторі 272,73 г. Маса емульсії, прийнятої для випробування, 205 г. Чи задовольняє емульсія вимогам однорідності?

**Рішення.** Використовуємо формулу, наведену в ГОСТ Р 52128-2003:

 M = $\frac{m2-m1 }{m3}$100, (6.8)

де М - залишок на ситі, %; m1 маса сита і чашки, г; m2 - маса сита з залишком і чашкою, г; m3 - маса емульсії, г.

Залишок на ситі:

М = (272,73 - 271,5)\*100/205 = 0,6%.

Згідно ГОСТ Р 52128-2003 залишок на ситі №014 (масова частка частинок бітуму крупніше 0,14 мм) не повинен перевищувати 0,25%. Отже, емульсія не відповідає вимогам по однорідності.

**6.3. Задачі для самостійного розв’язання**

 1. Який нафтовий бітум краще використовувати в асфальтобетоні в районах з континентальним кліматом: а) з температурою розм'якшення 50°С і температурою крихкості -15°С; б) з температурою розм'якшення 47°С і температурою крихкості -21°С?

2. До якого структурно-реологічного типу відноситься бітум, що має температуру розм'якшення 47°С, температуру крихкості -21°С і розтяжність 90 см при температурі 25°С? Перерахувати його основні властивості.

3. Температури розм'якшення і крихкості бітуму рівні відповідно 52 і

-18°С, розтяжність становить 52 см при температурі 25°С Назвати структурно-реологічний тип бітуму і його основні властивості.

4. Є бітуми: а) з пенетрацією при 25°С 158\*0,1 мм і температурою розм'якшення 38°С; б) з пенетрацією при 25°С 95\*0,1 мм і температурою розм'якшення 45°С. Вказати бітум, який характеризується більшою теплостійкістю.

5. Визначити орієнтовно динамічну в'язкість бітуму, пенетрація якого при 25 °С дорівнює 93\*0,1 мм.

6. Порівнюються два бітуми а) з пенетрацією при 25 °С 72\*0,1 мм і температурою розм'якшення 48 С; б) з пенетрацією при 25 °С 46\*0,1 мм і температурою розм'якшення 55 °С. Який бітум характеризується більшою теплостійкістю?

7. Встановити умовну в'язкість і марку бітуму, індекс пенетрації якого - 1,2, а температура розм'якшення 47 °С.

8. Яка кількість теплоти потрібна для нагріву 15 т бітуму в бітумоплавильному котлі з 80 до 140 °С, якщо питома теплоємність бітуму 1,9 кДж/(кг °С)? Втрати тепла не враховувати.

9. Знайти витрату теплоти для нагріву 25 т бітуму в бітумоплавильному котлі з 95 до 160 °С, якщо питома теплоємність бітуму 0,9 кДж/(кг С).

10. До якого класу за швидкістю загущення відноситься рідкий бітум, якщо при дотриманні в сушильній шафі з нього за 5 год при температурі (110 ± 1) °С випарувалося 7,5% розріджувача? Назвати марку бітуму.

11. Визначити вміст в емульсії бітуму з емульгатором, якщо маса випарювальної чашки зі скляною паличкою 157 г, маса чашки з паличкою і емульсією (до випарювання) 185,0 г, маса чашки з паличкою і залишком після випаровування води з емульсії 171,7 г.

12. Маса випарювальної чашки зі скляною паличкою 165 г, маса чашки з паличкою і емульсією (до випарювання) 193,5 г, маса чашки з паличкою і залишком після випаровування води з емульсії 180,2 г. Який зміст в емульсії бітуму з емульгатором?

13. Маса сита з сіткою № 014 і чашки в сухому стані 268,7 г, маса сита з залишком аніонної емульсії і чашкою після висушування в термостаті і охолодження в ексикаторі 269,3 м Маса емульсії, прийнятої для випробування, 202,5 ​​м. Визначити залишок на ситі з сіткою № 014 і однорідність аніонної емульсії.

14. Визначити відповідність катионної емульсії стандарту по залишку на ситі з сіткою № 014, якщо маса сита з залишком катионної емульсії і чашкою після висушування в термостаті і охолодження в ексикаторі 273,63 г, маса емульсії, взятої для випробування, 203,8 г, маса сита з сіткою № 014 і чашки в сухому стані 272,7 г.

**7. АСФАЛЬТОБЕТОННІ СУМІШІ І АСФАЛЬТОБЕТОНИ**

Мета: набуття навичок визначати раціональний склад асфальтобетонів та засвоєння сутності формування асфальтових в’яжучіх.

**7.1. Загальні відомості**

**Асфальтобетонна суміш** - раціонально підібрана суміш мінеральних матеріалів щебеню (гравію) різної крупності, природного або дробленого піску, мінерального порошку з бітумом, взятих в певних співвідношеннях і перемішаних в нагрітому стані.

**Асфальтобетон** - штучний матеріал, отриманий в результаті ущільнення при оптимальній температурі асфальтобетонної суміші.

1. В залежності від виду кам'яного матеріалу асфальтобетонні суміші та асфальтобетони поділяються:

- на щебеневі, що складаються з щебеню, піску, мінерального порошку і бітуму;

- гравійні, що складаються з гравію, піску або гравійнопіщаного природного матеріалу, мінерального порошку і бітуму;

- піщані, що складаються з піску, мінерального порошку і бітуму.

2. В залежності від в'язкості бітуму і температури приготування, укладання і ущільнення асфальтобетонні суміші поділяються на гарячі і холодні.

Гарячі асфальтобетонні суміші готують на твердих нафтових дорожніх бітумах марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200, БНД 200/300 (БН 40/60, БН 60/90, БН 90/130, БН 130/200, БН 200/300) по ГОСТ 22245-90\*, а також на полімернобітумних в'яжучих і модифікованих бітумах. Температура гарячих сумішей при укладанні повинна бути не нижче 120 °С. Формування асфальтобетону з таких сумішей в основному закінчується після ущільнення і охолодження конструктивного шару дорожнього одягу.

Холодні асфальтобетонні суміші готують на рідких нафтових дорожніх бітумах марок СГ 70/130, СГ 130/200, МГ 130/200, МГО 70/130, МГО 130/200 за ГОСТ 11955-82\*. Холодні суміші до їх укладання на дорогу можна зберігати на складі від 2 тижнів до 8 місяців. Укладання і ущільнення холодних сумішей виконується при температурі повітря не нижче 5 °С. Холодні суміші через зниженого вмісту бітуму і підвищеного вмісту мінерального порошку є жорсткими і важко ущільнюються, тому шари з них в початковий період мають підвищену пористість. Формування холодного асфальтобетону продовжується 4 - 10 тижнів в залежності від класу рідкого бітуму, погодних умов і ступеня доущільненого впливу автотранспорту.

3. Гарячі асфальтобетонні суміші та асфальтобетони в залежності від найбільшого розміру зерен щебеню або гравію поділяються на грубозернисті (зерна до 40 мм), дрібнозернисті (зерна до 20 мм) і піщані (зерна до 10 мм).

Холодні асфальтобетонні суміші поділяються на дрібнозернисті і піщані.

4. За щільністю (пористості) асфальтобетони з гарячої суміші з урахуванням їхнього призначення поділяються на види:

- високощільні - із залишковою пористістю від 1,0 до 2,5% об’єму, що застосовуються в одношарових і верхніх шарах покриттів і обов'язково містять мінеральний порошок;

- щільні - із залишковою пористістю від 2,5 до 5% об’єму, що застосовуються у верхніх шарах покриттів, в нижніх шарах покриттів і верхніх шарах основ і обов'язково вміщують мінеральний порошок;

- пористі - із залишковою пористістю від 5 до 10% об’єму, що застосовуються в нижніх шарах покриттів і верхніх шарах основ при пониженому вмісті мінерального порошку;

- високопористі - із залишковою пористістю понад 10% об’єму, що застосовуються в нижніх шарах покриттів і основ при пониженому вмісті мінерального порошку.

Холодні асфальтобетони на початку експлуатації дороги повинні мати залишкову пористість від 6 до 10% обсягу через початкове недоущільнення, але в процесі формування їхня щільність підвищується.

5. Щільні асфальтобетони за вмістом в них щебеню (гравію) або піску (природнього окатаного і відсіву дроблення) поділяються на структурні типи, зазначені в табл. 7.1.

6. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетони в залежності від показників фізико-механічних властивостей асфальтобетону і застосовуваних матеріалів підрозділяються на марки, зазначені в табл. 7.2.

Для асфальтобетонних сумішей застосовують щебінь з щільних гірських порід і гравій, щебінь із шлаків, що відповідають вимогам ГОСТ 8267-93\*, ГОСТ 3344-83, ГОСТ 9128-2009. У асфальтобетоні щебінь грає роль активного структуроутворюючого компоненту. У асфальтобетонах з малим вмістом щебеню він є інертним заповнювачем. З підвищенням вмісту щебеню (понад 35%) в асфальтобетоні формується каркас з мінеральних зерен, що сприймає зсувні зусилля і забезпечує високі механічні властивості асфальтобетону. При більшому вмісті щебеню в асфальтобетоні утворюється шорохувата поверхня покриття, що підвищує безпеку руху.

**Таблиця 7.1** **Типи асфальтобетонів**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип | Вміст щебеню (гравію),% маси мінеральної частини | Вид, характеристика і склад піску |
| Гарячі |
| Високощільний А Б В ГД | більше 50…70більше 50…60більше 40…50більше 30…40від 0 до 30від 0 до 30 | Природний, відсів дроблення і їхні сумішіТе ж Те жТе жПісок із відсівів подрібнення Природний або суміш з відсівами дроблення. Вміст останніх менше як 70% за масою |
| Холодні |
| Б хВ хГ х, Д х | більше 40…50більше 30…40від 0 до 30 | Природній, відсіви подрібнення і їхні суміші Те жТе ж, що для типів Г і Д |

**Таблиця 7.2 Марки асфальтобетонів**

|  |  |
| --- | --- |
| Види і типи сумішей і асфальтобетонів | Марки |
| Гарячі:ВисокощільніЩільні типів: | I |
| АБ, ГВ, Д | I, II Ι, ΙΙ, IIIII, III |
| Пористі і високопористі | Ι, ΙΙ |
| Холодні типів:Б х, В хГхДх | I, III, IIII |

Для приготування асфальтобетону використовують природні і подрібнені піски по ДСТУ Б В.2 7-32-95, ГОСТ 9128-2009. Пісок підвищує легкоукладальність сумішей і щільність асфальтобетону. Раціональне використання піску в асфальтобетоні сприяє зниженню його вартості.

Мінеральний порошок для асфальтобетонних сумішей отримують тонким подрібненням карбонатних і основних гірських порід. Для підвищення якості мінерального порошку і асфальтобетону проводять активацію порошків шляхом розмелювання гірських порід спільно з активізуючою добавкою (1,5…2,5% мас.). У ролі активуючої добавки використовують суміші бітуму з поверхнево-активними речовинами. Мінеральний порошок повинен відповідати вимогам ГОСТ Р 52129-2003. Мінеральний порошок в асфальтобетоні підвищує щільність мінеральної частини і структурує бітум, підвищуючи теплостійкість і клеючі властивості асфальто в’яжучого.

Бітум в асфальтобетоні виконує наступні функції: 1) грає разом з порошком (або без нього) роль в'яжучого, склеює в моноліт зерна щебеню (гравію) і піску; 2) заповнює міжзерновий простір мінеральної частини і надає асфальтобетону необхідну щільність і водостійкість; 3) грає роль мастила, що зменшує внутрішнє тертя в мінеральної частини, тому надмірний вміст бітуму може привести до зниження міцності, теплостійкості і зсувостійкості асфальтобетону.

Склад асфальтобетону проектують в чотири етапи: 1) визначення властивостей вихідних мінеральних компонентів і бітуму; 2) визначення складу мінеральної частини асфальтобетону заданого виду, типу та марки; 3) визначення оптимального вмісту бітуму; 4) уточнення складу асфальтобетону за даними детального вивчення його фізико-механічних властивостей.

Зерновий склад мінеральної частини асфальтобетону визначають за методом граничних кривих щільних сумішей. Зернові склади сумішей повинні відповідати вимогам ГОСТ 9128-2009 (табл. П.10.1).

Технічні вимоги ГОСТ 9128-2009 до гарячих високощільних і щільних асфальтобетонів різних типів в залежності від марки асфальтобетону та дорожньо-кліматичної зони наведені в табл. П.10.2, п.10.3.

**7.2. Приклади розв'язання задач**

**1.** Для виготовлення холодної асфальтобетонної суміші витрачено 400 т рідкого бітуму з в'язкістю за стандартним віскозиметру С560 = 80 с. Скільки буде потрібно гасу для розрідження в'язкого бітуму, якщо при 15% гасу в'язкість бітуму виявилася рівною 130 с, а при 23% - 10 с?

**Рішення.** Для визначення процентного вмісту гасу, необхідного для розрідження в'язкого бітуму до його умовної в'язкості з 60…80 с, будується графік логарифмічною залежності умовної в'язкості рідкого бітуму (lg С) від вмісту розріджувача. (Рис. 1). Вплив змісту гасу на в'язкість розрідженого бітуму Точки 1 і 2 рівні логарифму умовної в'язкості рідкого бітуму з вмістом гасу 15 і 23% відповідно. З'єднуємо точки прямої. Логарифм умовної в'язкості З 60…80 дорівнює 1,903. Відкладаємо дане значення на відповідній осі і проводимо горизонтальну пряму до перетину з прямою, що з'єднує точки 1 і 2. З точки перетину опускаємо перпендикуляр до горизонтальної осі і визначаємо процентний вміст гасу у в'язкому бітумі, що дорівнює 16,5%. Таким чином, для приготування 400 т рідкого бітуму необхідно наступна кількість гасу: М К = 400 16,5 / 100 = 66,0 т.

**2.** Скільки буде потрібно бітуму марки БНД 90/130 з густиною 1,00 т/м3 для приготування 500 т гарячої щільної дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу Б марки I, якщо відомо, що середня густина мінеральної складової суміші дорівнює 2,15 т/м3, пористість її 19%, а залишкова пористість асфальтобетону 4,5%?

**Рішення.** Необхідна кількість бітуму Б в асфальтобетоні у відсотках до маси мінеральної частини обчислюється за формулою (Vмч Vо) ρ 1,0 с Б = 6,74%, ρ 2,15 мч де Vмч пористість мінеральної частини асфальтобетону,%; Vпор - залишкова пористість асфальтобетону, %; ρмч - середня щільність мінеральної частини асфальтобетону, т / м 3; ρ б щільність бітуму, т / м

**3.** Розраховується необхідна кількість бітуму для приготування 500 т гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші Мб = 500 6,74 / (100 + 6,74) = 31,572 т. 3. Обчислити показник бітумомісткості мінерального порошку з істинною густиною 2800 кг/м3, якщо товкачик занурився на глибину 8 мм при навішуванні порошку масою 0,065 кг.

**Рішення.** Бітумомісткості мінерального порошку визначається за формулою 15ρ мп ПБ = 100 = (15 2,80 / 65) 100 = 64,6, m де m маса навішення порошку, г; ρ мп дійсна густина мінерального порошку, г/см3; 100 об'єм порошку, см3.

**4.** Визначити середню густину мінеральної частини асфальтобетонної суміші, якщо відомо наступне: середня густина щебеню 2500 кг/м3, піску 2600 кг/м3, мінерального порошку 2700 кг/м3, вміст щебеню в суміші 50 %, вміст піску 45%, вміст мінерального порошку 5%.

**Рішення.** Середня густина мінеральної частини асфальтобетонної суміші визначається за формулою аб ρ m = Щ ρ щ m 100 П + ρ п m МП ρ мп m = 50 2500 100 45 + 2600 5 2700 = 2515,7 кг/м3.

**5.** Підібрати мінеральну частину для приготування щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу Б, який ущільнюється в гарячому стані, для верхнього шару дорожнього покриття (безперервна гранулометрія). Технічні властивості матеріалів задовольняють вимогам ГОСТу. У табл. 7.3 наведено зерновий склад мінеральних складових асфальтобетонної суміші. Таблиця 7.3 Зернові склади мінеральних матеріалів Щебінь Пісок Мінеральний порошок Приватні залишки, % мас., на ситах з розмірами отворів, мм 15; 10; 5; 2,5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16; менше 0,16 0,071 менше 0,071; 6 39,0 51,0 4,0 20,0 24,0 26,0 12,0 16,0 2,0 20,0 80,0.

**Рішення.** Підбір складу мінеральної частини здійснюють в наступному порядку: а) висловлюють зернові склади компонентів (щебеню або гравію, піску, мінерального порошку) у вигляді повних залишків на ситах, % мас.; б) множать повні залишки кожного компонента на його вміст в суміші, виражене в частках одиниці маси; в) складають отримані повні залишки всіх компонентів на кожному ситі; г) обчислюють проходи через сита з вирахуванням 100% кожного сумарного повного залишку на даному ситі. Розрахунок ведеться в табличній формі (табл. 7.4). Порівнюють отриманий зерновий склад з необхідними межами вмісту фракцій по ГОСТ 9128-2009 (табл. П.10.1). Таким чином, при вмісті щебеню 45%, піску 45% і мінерального порошку 10% зерновий склад мінеральної частини асфальтобетону типу Б відповідає вимогам ГОСТ 9128-2009 (див. табл. П.10.1).

**7.3. Завдання для самостійного розв’язування**

1. Для виготовлення холодної асфальтобетонної суміші витрачено 380 т рідкого бітуму з в'язкістю за показниками стандартного віскозиметру З 5 60 = 90 с. Скільки буде потрібно гасу для розрідження в'язкого бітуму, якщо при 14% гасу в'язкість бітуму виявилася рівною 140 с, а при 20% 50 с?

2. Для виготовлення холодної асфальтобетонної суміші витрачено 50 т рідкого бітуму з в'язкістю за стандартним віскозиметру З 5 60 = 110 с. Скільки знадобилося дизельного палива для розрідження в'язкого бітуму, якщо його суміш з 18% розріджувача має в'язкість З 5 60 = 69 с, а з 12% 151 с?

3. Визначити дійсну густину активованого мінерального порошку з 2% мас. активатора (суміш бітуму і ПАР) понад 100% мінеральної частини порошку. Справжні густини: мінеральної частини 2640 кг/м3, активатора 960 кг/м3.

4. Визначити кількість дорожнього бітуму щільністю 1020 кг/м3, необхідного для обробітку 1200 т мінерального матеріалу рідким бітумом марки СГ 70/130, якщо для приготування 1 т рідкого бітуму витрачається 150 кг гасу. При цьому відомо, що пористість мінеральної частини холодної асфальтобетонної суміші 25%, середня щільність її 2,1 т/м3, а залишкова пористість асфальтобетону складає 6% за обсягом.

5. Визначити середню густину мінеральної частини асфальтобетонної суміші. Середня густина асфальтобетонної суміші в ущільненому стані дорівнює 2400 кг/м3. Зміст бітуму 6% від загальної маси асфальтобетонної суміші.

6. Скільки потрібно бітуму марки БНД 130/200 з густиною 0,99 т/м3 і мінеральних матеріалів для приготування 5000 т гарячої дрібнозернистої щільної суміші типу Б марки I, якщо відомо, що густина мінеральної складової суміші дорівнює 2,25 т/м3, пористість мінеральної частини 17%, а залишкова пористість асфальтобетонного покриття за об'ємом становить 3%?

7. Обчислити показник бітумомісткості активованого мінерального порошку густиною 2600 кг/м3, якщо товкач занурився на глибину 8 мм при навішуванні порошку масою 0,1 кг.

8. Визначити середню густину мінеральної частини асфальтобетонної суміші, якщо відомо наступне: середня густина щебеню (вихідної породи) 2470 кг/м3, піску 2430 кг/м3, мінерального порошку 2700 кг/м3, вміст щебеню в суміші 40%, вміст піску 45%, вміст мінерального порошку 15%.

9. Визначити оптимальний вміст бітуму в асфальтобетоні, якщо маса зразків з вмістом бітуму 4,5% по масі в сухому стані на повітрі m0 = 232,3 г. Маса тих же зразків на повітрі після витримування 30 хв у воді m1 = 232,5 г, у воді після витримування в ній 30 хв m2 = 129,2 г. Справжня густина мінеральної частини 2680 кг/м3. Залишкова пористість асфальтобетону не повинна перевищувати 4,5%.

10. Визначити істину густину асфальтобетонної суміші, що складається з 7% бітуму і 93% мінеральних матеріалів. Густина бітуму 990 кг/м3, дійсна густина мінеральної частини асфальтобетонної суміші 2450 кг/м3.

11. Визначити залишкову пористість асфальтобетону, якщо його середня густина дорівнює 2350 кг/м3, а справжня щільність 2400 кг/м3.

12. Визначити необхідну кількість катіонної бітумної емульсії 60% - ної концентрації, необхідне для приготування 200 т емульсійно-мінеральної суміші, якщо оптимальна кількість бітуму для цієї суміші становить 6% від її маси.

13. Розрахувати витрати мінеральних матеріалів і дорожнього бітуму на 1 км верхнього шару дорожнього покриття товщиною 5 см при ширині проїзної частини 6 м, якщо в суміші міститься щебеню 18%, дробленого піску 42%, кварцового піску 32%, мінерального порошку 8%, бітуму 5,5% (понад 100% мінеральної частини). Середня густина асфальтобетону 2280 кг/м3.

14. Знайти маси мінеральних матеріалів і вузького дорожнього бітуму для виробництва 165 т крупнозернистой пористої асфальтобетонної суміші марки II. Істина густина бітуму 990 кг/м3, середня густина мінеральної частини асфальтобетону 2250 кг/м3, пористість мінеральної частини асфальтобетону 22%, залишкова пористість асфальтобетону 11% за об'ємом.

15. Підібрати мінеральну частину для приготування щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу А, що ущільнюється в гарячому стані, для верхнього шару дорожнього покриття з безперервною гранулометрією (див. табл. П.10.1). Зернові склади мінеральних складових асфальтобетонної суміші наведено в табл. 7.5. Зернові склади мінеральних матеріалів Таблиця 7.5 Щебінь Пісок Мінеральний порошок Часткові залишки, % мас., На ситах з розмірами отворів, мм 15; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 менше 0,16: менше 0,071 0,0 44,1; 47,0; 8,9; 9,7; 35,3; 24,9; 15,4; 12,0; 2,7; 23,6; 76,4 Технічні властивості матеріалів задовольняють вимогам стандартів.

**8. ДЕРЕВИНА**

**Мета:** Засвоєння суності деревини та способів способи оцінювання її властивостей.

**8.1. Загальні відомості**

Деревиною називають звільнену від кори і серцевини тканину волокон, яка міститься в стовбурі, гілках і корінні дерева. Деревина характеризується порівняно високою міцністю при невеликій густини, малою теплопровідністю, легкістю оброблення, простотою скріплення між собою окремих елементів, високою морозостійкістю і задовільним опором дії хімічних реагентів. До недоліків деревини відносять гігроскопічність, загнивання і горіння, анізотропність (неоднорідність фізико-механічних властивостей в різних напрямках), наявність вад. Для оцінки якості деревини як сировини для отримання різних будівельних матеріалів і конструкцій вивчають її макро- і мікроструктуру, визначають фізичні, механічні властивості, а також вади. Макроструктуру деревини вивчають на трьох розрізах: торцевої (проходить поперек стовбура), радіальний (проходить через вісь стовбура), тангентальний (проходить паралельно осі стовбура). Визначають наступні фізико-механічні властивості деревини: істинну і середню густину, вологість, теплопровідність, усушку і набухання, границю міцності при стисненні (уздовж і поперек волокон), розтягуванні, статичному вигині і сколюванні. З усіх зовнішніх впливів на деревину найбільше впливає волога. Вологість, яку набуває деревина в результаті тривалого перебування на повітрі з постійною температурою і вологістю, називають рівноважною. Стандартною вважають вологість 12%, це вологість, при якій порівнюють властивості деревини. Вологість, при якій стінки клітин деревини насичені водою, а порожнини вільні від води, називають межею гігроскопічної вологості або точкою насичення волокон (W пг 30%). Так як механічні властивості деревини залежать від вологості, для отримання порівнянних результатів випробування міцність деревини перераховують на міцність при стандартній 12%-вій вологості за формулою:

R12 = RW [1 + α (W – 12)],

де R– границя міцності при стиску деревини в умовах стандартної вологості 12%, МПа; RW – міцність при стиску при фактичній вологості; W – вологість деревини в момент випробування, МПа; α - поправковий коефіцієнт, що показує, наскільки змінюється ця властивість при зміні вологості на 1%; α = 0,04 (незалежно від породи дерева); W - вологість, % мас. Зміна гігроскопічної вологості (від 0 до 30%) викликає усушку і набухання деревини. Розрізняють лінійну і об'ємну усушку. Лінійну усушку визначають в двох напрямках: тангенціальному і радіальному. Усушку уздовж волокон з огляду на її незначну величину не визначають. Лісоматеріали отримують механічною обробкою деревини. Вони підрозділяються на круглі лісоматеріали (колоди, підтоварник, жердини); пиломатеріали (дошки, бруски, бруси); стругані і фрезеровані матеріали (плінтус, поручні, наличники і т.п.); вторинні продукти (тирса, стружки, тріски, деревне борошно). До виробів з деревини відносять паркет, меблеві щити, столярні вироби (двері, віконні і дверні блоки), фанеру, деревостружкові та деревоволокнисті плити, деревно-шаруваті пластики, клеєні дерев'яні конструкції і вироби з модифікованої деревини.

**8.2** **Приклади розв'язання задач**

1. Визначити вологість зразка деревини, якщо первісна маса бюкси з зразком 90 г, а після висушування до постійної маси 56 г. Маса порожньої бюкси 12 г.

**Рішення.** Вологість деревини обчислюємо за формулою

$$W=\frac{m\_{в}-m\_{с}}{m\_{с}}\*100\%=\frac{\left(90-12\right)-\left(56-12\right)}{\left(56-12\right)}\*100=77,3\%$$

де 12 - маса бюкси, г; mв, mс маса бюкси з зразком деревини до і після висушування, г.

**2.** Границя міцності деревини при вологості 18% становить при стиску 43,0 МПа, при вигині 75 МПа. Визначити стандартні границі міцності.

**Рішення.** Результати механічних випробувань деревини, вологість якої менше границі гігроскопічності (30%), перетворимо за формулою:

R12 = RW [1+α (W-12)];

Отримуємо R12 = 43[1+ 0,04(18-12)] = 52,03

При величині - R12 = R18[1+α (W-10)] = 43[1+0,04(18-10)]=

R = 431 МПа. Перерахунок границі міцності при статичному вигині виконуємо аналогічно: R = 75(1+ 0,04(18-12) = 90, МПа.

1. Обчислити границю міцності деревини при статичному вигині, якщо руйнівне зусилля 1420 Н, розміри зразку стандартні. Рішення:

R = $\frac{P·l}{b·h^{2}}$ = $\frac{1420·0.24}{0.02·0.02^{2}} $= 42600000

де P максимальне навантаження в момент руйнування зразка, Н; l -відстань між опорами, м; b, h розміри зразка, м.

**8.3 Завдачі для самостійного розв’язання**

1. Встановити вологість зразка деревини, якщо первісна маса бюкси з зразком 82 г, а після висушування до досягнення постійної маси 64 г. Маса бюкси 12,5 м

2. Маса зразкe деревини дуба, призначеного для випробування на стиск, разом з бюксою дорівнювала 21,1 м. Границя міцності на стиск вздовж волокон цього зразку має 43,4 МПа. Знайти вологість деревини дуба і міцність при 12%-вої вологості, якщо маса висушеного зразку таких же розмірів разом з бюксою була 19,65 г, а маса бюкси 12,4 м.

3. Чому дорівнює вологість зразку деревини, первісна маса зразку якої разом з бюксою 88 г, а після висушування до постійної маси 57 г? Маса сухої бюкси 12,2 г.

4. При стандартному випробуванні деревини сосни з вологістю 20% мас. при стисненні вздовж волокон було відзначено руйнівне зусилля 15,3 кН. Визначити границя міцності деревини на стиск при вологості 12%.

5. Встановити стандартну границю міцності деревини при стиску вздовж волокон і при вигині, якщо в умовах вологості 22% ці характеристики дорівнюють відповідно 36 і 62 МПа.

6. Розрахувати межа міцності при стиску вздовж волокон в умовах стандартної вологості деревини берези. Для зразку розміром 20х20х30 мм при вологості 25% руйнівне навантаження склала 18 кН.

7. Маса зразку стандартних розмірів, вирізаного з деревини дуба, дорівнює 8,76 г; при стиску вздовж волокон границя міцності його виявилася рівною 37,1 МПа. Знайти вологість, щільність і міцність на стиск при вологості 12%, якщо маса висушеного зразку таких же розмірів становить 7 м.

8. Границя міцності деревини, вологість якої 8%, становить: при стиску 46 МПа, при вигині 78 МПа. Яка стандартна міцність деревини?

9. Чому дорівнює границя міцності деревини дуба при стандартній вологості, якщо руйнівне навантаження при випробуванні зразку розміром 20х20х30 мм склала 27,5 кН при вологості деревини 16%?

10. Сосновий брус перетином 10х20 см (товщина х висота) лежить на двох опорах, віддалених одна від одної на 4 м. Посередині брусу до нього було додане максимальне навантаження 21000 Н, яке викликало злам брусу. Розрахувати границю міцності брусу при вигині.

11. Зразок деревини у вологому стані мав розмір 20х20х30 мм, а після висушування до нульової вологості 18х18х26 мм. Знайти лінійну усушку.

12. Чому рівні коефіцієнти лінійної усушки деревини, зразок якої має лінійну усушку в тангентальном напрямку 12%, в радіальному напрямку 8%? Первісна вологість деревини 21%.

13. Яка границя міцності деревини за результатами випробування стандартного зразку з липи розміром 20х20х30 мм, що має вологість 18%, якщо руйнівне навантаження 15 кН?

14. Дерев'яний зразок-брусок перетином 20х20 мм і довжиною вздовж волокон 300 мм лежить на двох опорах, відстань між якими 240 мм. Посередині бруса було докладено зусилля 2,5 кН, що призвело його до зламу. Обчислити границю міцності при статичному вигині.

15. Дубова дошка має розміри 25х150х600 мм і масу 1625 г при вологості, що дорівнює 21%. Обчислити густину деревини дуба при стандартній вологості (12%).

16. Визначити, чи досягнута точка насичення волокон у деревини, якщо її маса в абсолютно сухому стані становить 78 г, а після перебування у воді 104 м Точка насичення для деревини різних порід в середньому близько 30%.

**9. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ І АКУСТИЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ**

**Мета:** виявити визначальні особливості видів і властивостей теплоізоляційних матеріалів і виробів, їх відносну ефективність, області використання.

**9.1 Загальні положення**

Теплоізоляційні матеріали - особливий вид будівельних матеріалів, які відрізняються великою пористістю (переважно дрібної і закритою). Теплоізолюючі показники зростають з підвищенням пористості і знижуються в разі ущільнення і зволоження.

Всі теплоізоляційні матеріали та вироби з них поділяються на кілька видів:

- по виду сировини - на органічних і неорганічних;

- за величиною щільності - особливо легкі (ОЛ) марок від Д15 до Д100; легкі (Л) марок від Д125 до Д350; важкі (В) марок від Д400 до Д600;

- за структурою - волокнисті, пористі (ячеїсті), сипучі;

- за формою - мати, плити, безформна вата, плитки, цегла, фасонні вироби, сипучі;

- по виду в'яжучого - на керамічних, полімерних, бітумних, портландцементі, в'яжучих рідкому склі, рослинних клеях;

- по стіскаємості - м'які (М), напівтверді (ПЖ), жорсткі (Ж).

Ефективність теплоізоляційних матеріалів і виробів оцінюють коефіцієнтом теплопровідності, який пов'язаний з величиною пористості і, в свою чергу, з величиною щільності. Тому на практиці для оцінки теплоізолюючіх властивостей використовують показник марки по щільності Д.

**9.2 Задачі до самостійного розв’язання**

Визначити ефективність теплоізоляційних матеріалів за показниками коефіцієнту теплопровідності λ, $\frac{Вт}{М^{о}К^{ }}$;

Для цього скористатися формулою:

λ = $\sqrt{0,0196-0,22d^{2}}$ – 0,16,

де d – відносна густина матеріалу, д.о.

Матеріали: граніт (ρ = 2700 кг/м3); кераміка стінова (ρо = 1350 кг/м3; ρо = 1550 кг/м3; ρо = 1650 кг/м3); бетон важкий (ρо = 2350 кг/м3); пінобетон (ρо = 450 кг/м3); газобетон (ρ = 350 кг/м3); пінополістиролбетон (ρо = 600 кг/м3); ДВП (ρо = 390 кг/м3); пінополістирол (ρо = 25 кг/м3).

Результати представити у вигляді графічної залежності в системі координат «марка середньої густини = коефіцієнт теплопровідності, а також





**Список використаних джерел**

 1. Будівельні матеріали (Матеріалознавство. Будівельні матеріали): підручник / ред. : В.Г. Микульський, В.В. Козлов. М.: АСВ, 2004. 530 с.

2. Шубенкін, П.Ф. Будівельні матеріали та вироби. Бетони на основі мінеральних в'яжучих: Приклади завдань з рішеннями / П.Ф. Шубенкін, А.В. Кухаренко. М.: АСВ, 1998. 93 с.

3. Грушко, І.М. Дорожньо-будівельні матеріали: збірник задач / І.М. Грушко, Н.Ф. Глущенко, А.В. Космін. Харків: Вища. шк., 1987. 96 с.

4. ДБН по будівельним матеріалам // Довідково-правова система «Техексперт» [Електронний ресурс] / Компанія «Кодекс».

5. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б., Кочевих М.О., Гасан Ю.Г., Константинівський Б.Я., Ракша В.О. / Будівельне матеріалознавство: Підручник. — К.: «Видавництво Ліра-К», 2015. — 624 с.

6. Будівельні в’яжучі матeріали. Дворкін Л.Й. . – К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. – 628 с.