



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**НАСТАНОВА ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ
ВАЖКОГО БЕТОНУ**

ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013

Київ
Мінрегіон України
2014

ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО: Державне підприємство "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" (ДП НДІБК), ТК 303 "Будівельні конструкції", ПК 1 "Конструкції бетонні і залізобетонні"
- 2 РОЗРОБНИКИ: **А. Бамбура**, д-р техн. наук; **Г. Гірштель**, канд. техн. наук; **І. Ігнатова**, канд. техн. наук; **Д. Іонов**; **О. Киричок**, канд. техн. наук; **М. Миколаєць**, канд. техн. наук; **М. Мудрик**; **Т. Мірошник**; **Ю. Немчинов**, д-р техн. наук; **П. Попруга**, канд. техн. наук; **В. Тарасюк**, канд. техн. наук; **Г. Фаренюк**, д-р техн. наук; **Л. Шейніч**, д-р техн. наук (науковий керівник)
За участю: ТОВ "Будіндустрія, ЛТД": **Т. Бабаєвська**, канд. техн. наук
Одеська державна академія будівництва і архітектури: **В. Бабиченко**, д-р техн. наук; **С. Коваль**, д-р техн. наук
ТОВ "МЦ Баухемі": **А. Приймаченко**; **В. Метелюк**
ПАТ "Завод залізобетонних конструкцій ім. Світлани Ковальської": **Л. Пашина**; **С. Щербина**
ТОВ з іноземними інвестиціями "Дікергофф Україна": **Л. Іценко**
Національний університет водного господарства та природокористування: **Л. Дворкін**, д-р техн. наук; **О. Дворкін**, д-р техн. наук
- 3 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Мінрегіону України від 26.11.2013 р. № 555, чинний з 2014-07-01
- 4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

**Право власності на цей документ належить державі.
Цей документ не може бути повністю чи частково відтворений,
тиражований і розповсюджений як офіційне видання без дозволу
Міністерства регіонального розвитку, будівництва
та житлово-комунального господарства України**

© Мінрегіон України, 2014

ЗМІСТ

	С.
Вступ	IV
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	1
3 Терміни та визначення понять	3
4 Позначки та скорочення	3
5 Загальні вимоги	5
6 Вимоги до матеріалів для виготовлення бетону	5
7 Вихідні дані для розрахунку складу бетону	9
8 Розрахунково-експериментальний метод визначення складу важкого бетону	15
9 Прискорений метод оцінки якості цементу у бетоні і визначення складу бетону	19
10 Визначення складу бетону за таблицями, графіками, номограмами	28
11 Визначення складу самоущільнюючого бетону	40
12 Експериментальна перевірка і коригування розрахункового складу бетону, визначення виробничого складу бетону (з врахуванням вологості заповнювачів) і розрахунок матеріалів на один заміс бетонозмішувача.	44
13 Визначення, контроль і оцінка характеристик сировинних матеріалів, бетонної суміші та бетону при проектуванні його складу	49
Додаток А	
Особливість визначення складу важких бетонів різних видів на різних сировинних матеріалах	51
Додаток Б	
Планування експериментів і вибір складу бетонів із застосуванням математично-статистичних методів	68
Додаток В	
Співвідношення між класами і характеристиками бетону за міцністю на стиск і розтяг	83
Додаток Г	
Визначення водопотреби заповнювачів у бетонній суміші.	84
Додаток Д	
Співставлення вимог ДСТУ Б В.2.7-46:2010 і ДСТУ Б EN 197-1:2008 до цементів	85
Додаток Е	
Бібліографія	86

ВСТУП

Стандарт розроблено у розвиток положень ДСТУ Б В.2.7-215:2009 "Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу" та містить основні вимоги і рекомендації, наведені в "Руководство по подбору составов тяжелого бетона" (Настанова з підбору складу важкого бетону), яке було розроблено Науково-дослідним проектно-конструкторським та технологічним інститутом бетону та залізобетону (НИИЖБ) Держбуду СРСР.

В даному стандарті використане позначення класів бетону у відповідності з вимогами ДСТУ Б В.2.7-176 та ДБН В.2.6-98, а класів цементів у відповідності з вимогами ДСТУ Б EN 197-1.

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт – ТК 303 "Будівельні конструкції".

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

НАСТАНОВА ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ

РУКОВОДСТВО ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

GUIDELINES FOR APPOINTMENTS OF THE HEAVY CONCRETE

Чинний від 2014-07-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей стандарт встановлює правила вибору матеріалів (складових) бетону і методи розрахунку складів важкого бетону різних класів за міцністю, марок за водонепроникністю, морозостійкістю та іншими властивостями бетону, що виготовляються на цементах різних типів та видів і важких заповнювачах, що застосовуються для виготовлення збірних конструкцій і зведення монолітних споруд.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому стандарті є посилання на такі нормативні акти та нормативні документи:

ДБН А 3.1-7-96 Управління, організація і технологія. Виробництво бетонних і залізобетонних виробів

ДБН В.2.3-4:2007 Споруди транспорту. Автомобільні дороги.

Частина 1. Проектування. Частина 2. Будівництво

ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення

ДСТУ Б А.1.1-59-95 Система стандартизації та нормування в будівництві. Технологія важких бетонів і залізобетонних виробів. Бетонні, розчинні суміші та бетони. Терміни та визначення

ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні умови (ГОСТ 31384:2008, NEQ)

ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-39-95 (ГОСТ 5578-94) Будівельні матеріали. Щебінь і пісок із шлаків чорної і кольорової металургії для бетонів. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-43-96 Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-47-96 (ГОСТ 10060.0-95) Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги

ДСТУ Б В.2.7-48-96 (ГОСТ 10060.1-95) Будівельні матеріали. Бетони. Базовий (перший) метод визначення морозостійкості

ДСТУ Б В.2.7-49-96 (ГОСТ 10060.2-95) Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні

ДСТУ Б В.2.7-71-98

(ГОСТ 8269.0-97) Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань

ДСТУ Б В.2.7-74-98 Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація

ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-85-99 (ГОСТ 22266-94) Будівельні матеріали. Цементи сульфатостійкі. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-96-2000 (ГОСТ 7473-94) Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-114-2002 (ГОСТ 10181-2000) Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань

ДСТУ Б В.2.7-128:2006 Будівельні матеріали. Добавки активні мінеральні та добавки-наповнювачі до цементу. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності

ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2001, NEQ)

ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008 Будівельні матеріали. Настанова щодо застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах

ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206-1:2000, NEQ)

ДСТУ Б В.2.7-185:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму

ДСТУ Б В.2.7-186:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Метод визначення водовідділення

ДСТУ Б В.2.7-187:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск

ДСТУ Б В.2.7-188:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення тонкості помелу

ДСТУ Б В.2.7-189:2009 Будівельні матеріали. Пісок стандартний для випробувань цементів.

Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-205:2009 Будівельні матеріали. Золи-виносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-211:2009 Будівельні матеріали. Суміші золошлакові теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-212:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стиранності

ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками

ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу

ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення

міцності механічними методами неруйнівного контролю

ДСТУ Б В.2.7-221:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Класифікація і загальні технічні вимоги

ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності

ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності

ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань

ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови

(ГОСТ 23732-79, MOD)

ДСТУ Б EN 196-1:2007 Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності (EN 196-1:2005, IDT)

ДСТУ Б EN 197-1:2008 Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів (EN 197-1:2000, IDT)

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті використано терміни, що означають поняття, визначені відповідно до:

3.1 ДСТУ Б А.1.1-59 – активні мінеральні добавки, виробничий склад бетонної та розчинової суміші, водопотреба піску, добавки для бетонів, гідротехнічний бетон, добавки пластифікуючі, дорожній бетон, дрібнозернистий бетон, жорсткість бетонної суміші, завантажувальна місткість змішувача, коефіцієнт варіації міцності бетону, коефіцієнт виходу бетонної суміші, коефіцієнт розсунення зерен заповнювача в бетонній суміші, комплексні добавки, легкоукладальність бетонної суміші, марка бетонної суміші за легкоукладальністю, міцність, номінальний склад бетонної суміші та розчину, нормальні умови тверднення бетону, рухомість бетонної суміші, швидкотверднучий бетон

3.2 ДСТУ Б В.2.7-176 – бетон, бетон заданого складу, бетонна суміш, важкий бетон, високоміцний бетон, водоцементне відношення, добавка хімічна, добавка мінеральна, заповнювач, завантаження, заміс, кубічний метр бетону, особливо важкий бетон, попередні випробування, характеристична міцність бетону, цемент

3.3 ДСТУ Б В.2.7-221 – бетон, здатний до самоущільнення; бетон напружуючий, бетон ніздрюватий, спеціальний бетон.

Нижче подано терміни, додатково використані в цьому стандарті, та визначення позначених ними понять.

3.4 клас бетону за міцністю на стиск

Показник якості бетону за міцністю на стиск C , який визначають за гарантованою міцністю бетону у мегапаскалях на зразках-циліндрах або зразках-кубах із забезпеченістю 0,95, що виготовлені і випробувані в стандартних умовах, встановлених діючими нормативними документами

3.5 активність цементу

Фактична міцність на стиск зразків із стандартного цементного розчину, що виготовлені і випробувані в стандартних умовах, встановлених діючими нормативними документами

3.6 нормовані величини

Кількісні величини характеристик бетону, що задані в проекті або в нормативному документі.

4 ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ

У цьому стандарті використані наступні позначки і скорочення:

Українські великі літери

В	– витрата води;
В/Ц	– водоцементне відношення;
Ц/В	– цементоводне відношення;
V_n	– водопотреба піску;
$V_{щ}$	– водопотреба щебеню;
V_r	– водопотреба гравію;
V_3	– водопотреба заповнювачів;
Г	– витрата гравію;
МД	– витрата мінеральної добавки;
Щ	– витрата щебеню;
Ж	– жорсткість бетонної суміші;
З	– витрата заповнювача;
$M_{кр}^п$	– модуль крупності піску;
НГЦТ	– нормальна густина цементного тіста;
НКЗ	– найбільша крупність заповнювача;
НКЩ	– найбільша крупність щебеню;
НКП	– найбільша крупність піску;

- НКГ – найбільша крупність гравію;
 П – витрата піску.
 Ц – витрата цементу

Латинські великі літери

- A і A₁ – коефіцієнти, які враховують якість заповнювачів;
 C... /... – позначення класів міцності на стиск важкого і особливо важкого бетону;
 СЕМ – марка цементу відповідно до серій ДСТУ Б EN 197-1;
 C_v – коефіцієнт варіації міцності бетону;
 C₃S – трикальцієвий силікат (аліт);
 C₂S – двокальцієвий силікат (беліт);
 C₃A – трикальцієвий алюмінат (целіт);
 C₄AF – чотирикальцієвий алюмоферит;
 М – середній коефіцієнт міцності;
 R_ц – активність цементу (фактична міцність);
 R_{сн}^ц – активність цементу (напружуючого) за самоупруженням;
 R_{к.п.} – середня міцність вихідної кам'яної породи, що йде на щебінь;
 S – середньоквадратичне відхилення;
 V_{ц.т.} – абсолютний об'єм цементного тіста;
 V_ц – абсолютний об'єм цементу;
 V_п – абсолютний об'єм піску;
 V_щ – абсолютний об'єм щебеню;
 V_г – абсолютний об'єм гравію;
 V_з – абсолютний об'єм заповнювачів;
 V_б – абсолютний об'єм бетону;
 V_р – абсолютний об'єм розчину;
 V_{нас.п} – насипний об'єм піску;
 V_{нас.щ} – насипний об'єм щебеню;
 V_{нас.г} – насипний об'єм гравію;
 V_{нас.з} – насипний об'єм заповнювача;
 V_{нас.ц} – насипний об'єм цементу;
 V_{пус.п} – міжзернова пористість піску в стандартно-насипному стані;
 V_{пус.щ} – міжзернова пористість щебеню в стандартно-насипному стані;
 V_{пус.г} – міжзернова пористість гравію в стандартно-насипному стані;
 V_{пус.з} – міжзернова пористість заповнювачів в стандартно-насипному стані;
 V_{пус.ц} – міжзернова пористість цементу в стандартно-насипному стані;
 W_п – водопоглинання піску за час, що регламентується стандартом;
 W_щ – водопоглинання щебеню за час, що регламентується стандартом;
 W – вологість.

Латинські малі літери

- f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск;
 f_{ck} – характеристичне значення міцності бетону на стиск у віці 28 діб;
 f_{cm} – середнє значення міцності бетону на стиск;
 f_{cm}^m – середнє значення міцності цементно-піщаного бетону на стиск;
 f_{mm} – середнє значення міцності розчину на стиск;
 f_{cc} – марка бетону за самоупруженням;
 k_в – коефіцієнт виходу бетону;
 r – частка піску у суміші заповнювачів.

Грецькі малі літери

- α – коефіцієнт заповнення пустот і розсунення зерен щебеню (гравію) розчином;
 $\alpha_{ц.т.}$ – коефіцієнт заповнення пустот і розсунення зерен піску цементним тістом;
 $\lambda_{п}$ – коефіцієнт водопоглинання і змочування піску;
 $\lambda_{щ}$ – коефіцієнт водопоглинання і змочування щебеню;
 $\lambda_{г}$ – коефіцієнт водопоглинання і змочування гравію;
 $\lambda_{з}$ – коефіцієнт водопоглинання і змочування заповнювачів;
 $\rho_{ц}$ – середня густина цементу;
 $\rho_{п}$ – середня густина піску;
 $\rho_{щ}$ – середня густина щебеню;
 $\rho_{г}$ – середня густина гравію;
 $\rho_{нас.п}$ – насипна густина піску;
 $\rho_{нас.щ}$ – насипна густина щебеню;
 $\rho_{нас.г}$ – насипна густина гравію;
 $\rho_{нас.з}$ – насипна густина заповнювачів;
 $\rho_{нас.ц}$ – насипна густина цементу;
 $\rho_{б.с}^T$ – теоретична густина ущільненої бетонної суміші;
 $\rho_{п.б.с}^T$ – теоретична густина ущільненої піщано-бетонної суміші;
 $\rho_{б.с}^Ф$ – фактична густина ущільненої бетонної суміші;
 $\rho_{п.б.с}^Ф$ – фактична густина ущільненої піщано-бетонної суміші.

5 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ

Підбір складу важкого бетону слід проводити відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-215 цього стандарту та методик, наведених в додатку А, з метою отримання бетону в конструкціях з міцністю (визначеної на зразках-кубах) й іншими показниками якості, встановленими національними нормативними документами, технічними умовами або проектною документацією на ці конструкції.

Склади спеціальних бетонів необхідно підбирати з врахуванням рекомендацій, наведених в додатку А цього стандарту.

Планування експериментів і вибір складу бетонів із застосуванням математично-статистичних методів наведено у додатку Б.

6 ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОНУ

6.1 Матеріали для виготовлення бетону повинні відповідати всім вимогам, що наведені в національних нормативних документах, технічних умовах та інших нормативних документах на дані матеріали.

За невідповідності матеріалів (окремих складових бетону) вимогам нормативних документів необхідно проводити їх випробування в бетоні та давати відповідне техніко-економічне обґрунтування доцільності їх застосування.

6.2 Цемент

6.2.1 Класи цементів повинні відповідати вимогам ДСТУ Б EN 197-1. Підбирати клас цементу слід за його активністю, що визначена згідно з ДСТУ Б EN 196-1. Орієнтовна залежність класу міцності бетону на стиск від активності цементу наведена в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Клас бетону за міцністю на стиск	C 8/10	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/35	C 32/40	C 35/45	C 40/50 і вище
Активність цементу, МПа	30	30–40	30–40	40–50	40–50	50–60	50–60	50–60	Понад 60

Тип і вид цементу в залежності від класу умов експлуатації бетону слід обирати за даними, наведеними в таблиці 6.2, відповідно до ДБН В.2.6-98.

6.2.2 Для надання більш високих техніко-економічних властивостей бетонам та для бетонів низьких класів при застосуванні високоактивних цементів необхідно вводити до складу бетону згідно з ДСТУ Б В.2.7-128, ДСТУ Б В.2.7-176, ДСТУ Б В.2.7-205 мінеральні добавки, які покращують властивості бетонної суміші і структуру затверділого бетону, сприяють зменшенню витрат цементу і при цьому не призводять до погіршення фізико-технічних показників бетонної суміші та бетону.

6.2.3 Доцільність і кількість мінеральних добавок визначають на первинному етапі визначення складу бетону згідно з цим стандартом, оскільки вони значно впливають на технологічні властивості бетонної суміші та фізико-технічні показники бетону. В результаті введення добавок показники бетону і його довговічність не повинні зменшуватися відносно складів без добавки.

6.2.4 При введенні добавок уточнюють кількість цементу, значення водоцементного відношення на основі результатів експериментальних випробувань.

6.2.5 Кількість введення золи-винесення та мікрокремнезему з метою зменшення витрати цементу підраховують за допомогою коефіцієнта k -фактора згідно з ДСТУ Б В.2.7-176.

6.2.6 Згідно з ДСТУ Б В.2.7-176 максимальна кількість золи-винесення на заміну частини цементу, що враховується при визначенні водоцементного відношення, повинна бути менше ніж: зола-винесення/цемент $\leq 0,33$, але не більше 120 кг/м^3 .

6.2.7 При введенні більшої кількості золи-винесення її надлишок розглядається як інертний і не враховується при визначенні витрати в'язучої речовини або його мінімального вмісту; в розрахунках використовується співвідношення водо/(цемент + зола-винесення). Максимальна кількість золи-винесення в бетоні для цементу класу 32,5 згідно з k -фактором становить $k = 0,2$; при використанні цементу класу 42,5 – $k = 0,4$.

6.2.8 Оптимальну кількість золи-винесення, а також кількість золошлакових сумішей можна визначати згідно з [7].

6.2.9 Згідно з ДСТУ Б В.2.7-176 максимальна кількість мікрокремнезему на заміну частини цементу, що враховується при визначенні водоцементного відношення, повинна бути менше ніж: мікрокремнезем/цемент $\leq 0,11$.

6.2.10 При введенні більшої кількості мікрокремнезему його надлишок розглядається як інертний і не враховується при визначенні витрати цементу або його мінімального вмісту; в розрахунках використовується співвідношення водо/(цемент + мікрокремнезем). Максимальна кількість мікрокремнезему в бетоні при $V/C \leq 0,45$ згідно з k -фактором становить $k = 2,0$, а при $V/C \leq 0,45$ також $k = 2,0$ за винятком класів впливу ХС і ХF згідно з ДСТУ Б В.2.6-145, для яких $k = 1,0$.

6.2.11 Кількість в'язучої речовини (цемент + мікрокремнезем) повинна бути не менше ніж мінімальний вміст цементу згідно з ДСТУ Б В.2.6-145 для відповідного класу впливу середовища експлуатації.

Якщо мінімальний вміст цементу у бетоні для певних класів впливу середовища експлуатації становить 300 кг/м^3 і менше, цю величину при використанні мікрокремнезему можна зменшувати не більше ніж на 30 кг/м^3 незалежно від результатів зазначених розрахунків.

Таблиця 6.2

Тип і види цементів згідно з ДСТУ Б EN 197-1	Небезпека корозії відсутня	Корозія бетону, що спричинена карбонізацією				Корозія бетону, що спричинена хлоридами (не з морської води), зокрема у використаних антикригових речовинах			Корозія бетону, що спричинена періодичним заморожуванням / відтаванням із/без антикригових речовин				Корозія і руйнування, спричинені впливом хімічних речовин			Використання в армованих попередньо-напружених конструкціях
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	
CEM I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM II/A-S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM II/B-S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	X	X	X
CEM II/A-D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	X	X	X
CEM II/A,B-P,Q	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	X	X	X
CEM II/A-V	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	X	X	X
CEM II/B-V	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	X	X	X
CEM II/A-W	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
CEM II/B-W	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
CEM II/A,B-T	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	X	X	X
CEM II/A-LL	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	X	X	X
CEM II/B-LL	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
CEM II/A-L	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O
CEM II/B-L	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
CEM II/A-M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	X	X	X
CEM II/B-M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O
CEM III/A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	X	X	X
CEM III/B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	X	X	X
CEM III/C	X	X	X	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	X	X	X
CEM IV/A	X	X	O	O	O	X	X	O	X	X	O	O	O	O	O	O

Кінець таблиці 6.2

Тип і види цементів згідно з ДСТУ Б EN 197-1	Небезпека корозії відсутня	Корозія бетону, що спричинена карбонізацією				Корозія бетону, що спричинена хлоридами (не з морської води), зокрема у використаних антикригових речовинах			Корозія бетону, що спричинена періодичним заморожуванням / відтаванням із/без антикригових речовин				Корозія і руйнування, спричинені впливом хімічних речовин			Використання в армованих попередньо-напружених конструкціях
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	
CEM IV/B	X	X	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O
CEM V/A	X	X	O	O	O	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O
CEM V/B	X	X	O	O	O	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O

Примітка. X – дозволяється використовувати при даному впливі навколишнього середовища; O – забороняється використовувати при даному впливі навколишнього середовища.

6.3 Дрібний заповнювач

6.3.1 Пісок для бетону повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-32, ДСТУ Б В.2.7-43 та ДСТУ Б В.2.7-211.

6.3.2 При відповідному обґрунтуванні та узгодженні із замовником можна застосовувати в якості дрібного заповнювача більш дрібні піски, кам'яний відсів, подрібнений шлак тощо.

6.4 Крупний заповнювач

6.4.1 В якості крупного заповнювача в бетоні можуть використовуватися матеріали як природного, так і штучного походження.

6.4.2 Крупний заповнювач повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-74 та ДСТУ Б В.2.7-75.

6.4.3 При відповідному техніко-економічному обґрунтуванні можливо застосовувати відходи виробництва, згідно з ДСТУ Б В.2.7-39 (ГОСТ 5578).

6.5 Хімічні добавки для бетонів

6.5.1 Хімічні добавки для бетонів повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-171.

6.5.2 Вибір добавок та підбір складу бетону з ними необхідно проводити згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.7-175 та [1].

6.6 Вода для замішування бетонної суміші та для догляду за бетоном

6.6.1 Для приготування бетонних сумішей необхідно застосовувати воду, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-273.

7 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СКЛАДУ БЕТОНУ

7.1 Завдання для розрахунку і підбору складу бетонної суміші наводиться в договорі на постачання бетонної суміші, показники бетону повинні бути наведені в проектній документації. Завдання на визначення складу бетону повинно відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-176.

7.2 Вимоги до бетону в залежності від умов експлуатації конструкції призначають у відповідності з вимогами, наведеними в ДБН В.2.6-98, ДСТУ Б В.2.7-176 та ДСТУ Б В.2.6-145.

7.3 Найбільша крупність заповнювачів (НКЗ) в залежності від видів елементів, що бетонуються, повинна бути не більше $1/5$ найменшого розміру конструкції або $3/4$ найменшої відстані між стрижнями арматури. При укладанні бетонної суміші в ковзну опалубку – не більше $1/6$ найменшого розміру поперечного перерізу конструкції, при подаванні бетонної суміші бетононасосами – не більше $1/3$ діаметра бетононасоса і при вмісті лежачих частинок не більше 15 %. При бетонуванні вібропакетом, віброплощадкою і віброрейкою не більше $1/6$ найменшого розміру конструкції.

7.4 Співвідношення фракцій крупного заповнювача в бетонній суміші приймають згідно з таблицею 7.1

Таблиця 7.1

Найбільша крупність щебеню (НКЩ), мм	Співвідношення між фракціями, %, при розмірі фракцій, мм			
	5-10	10-20	20-40	40-70
10	100	–	–	–
20	35	65	–	–
40	45-60		40-55	–
70	25-35		25-35	30-50

Примітка. За необхідності зерновий склад суміші крупного заповнювача уточнюють експериментально по найбільшій густині суміші заповнювача різних фракцій із врахуванням місцевих техніко-економічних властивостей.

7.5 Для уточнення реальних сумішей заповнювачів доцільно використовувати дані їх розсіву по фракціям.

На рисунках 7.1, 7.2, 7.3 і 7.4 наведені розсіви по фракціям сумішей заповнювачів (щебень+пісок) з максимальним розміром зерен (10, 20, 40 і 80) мм.

Якщо лінія розсіву сумішей заповнювачів розташована нижче кривої А, то така суміш заповнювачів вважається недоцільною для використання, так як вона занадто перенасичена частинками крупного розміру і дуже важко піддається обробці. При цьому така суміш має схильність до розшарування.

Якщо лінія розсіву проходить між кривими А та В, то така суміш заповнювачів вважається оптимальною.

Якщо лінія розсіву проходить у площині між кривими В та С, то вважається, що така суміш заповнювачів перенасичена піском. Вона має підвищену водопотребу і як результат потребує більшу кількість цементу або пластифікуючої добавки.

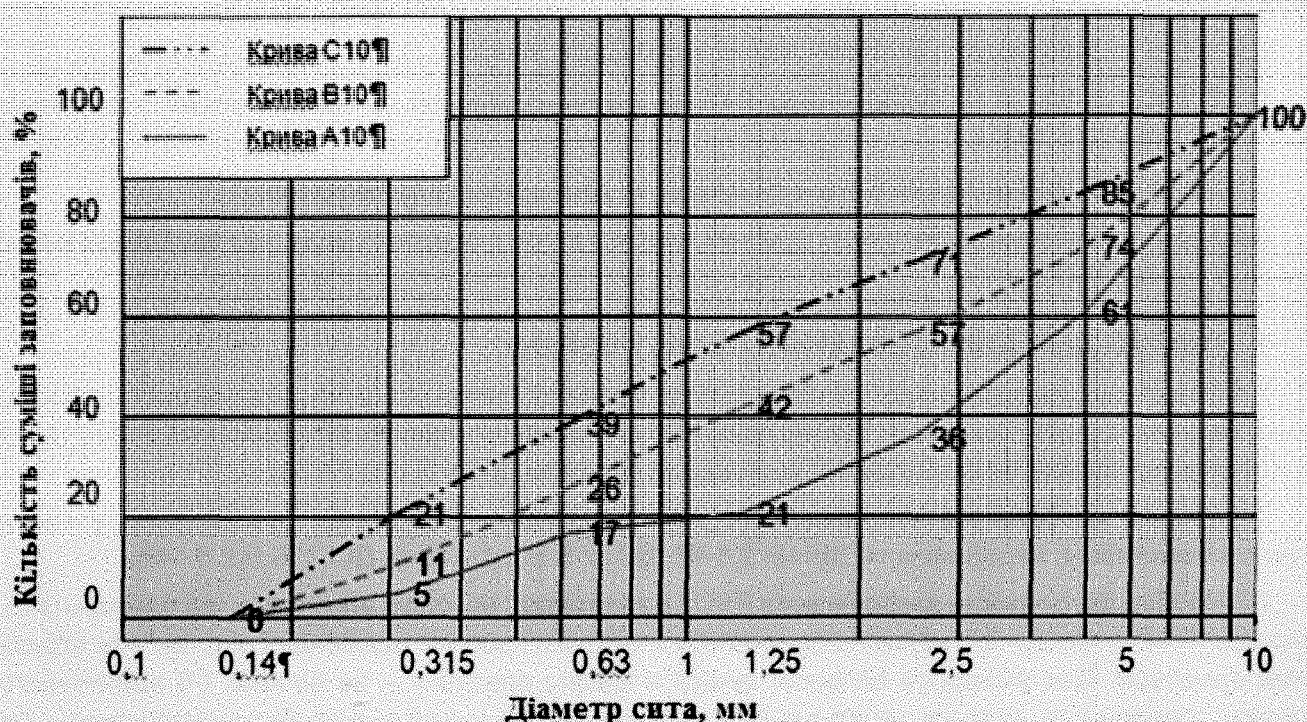


Рисунок 7.1 – Крива розсіву суміші заповнювачів з максимальним розміром зерна 10 мм

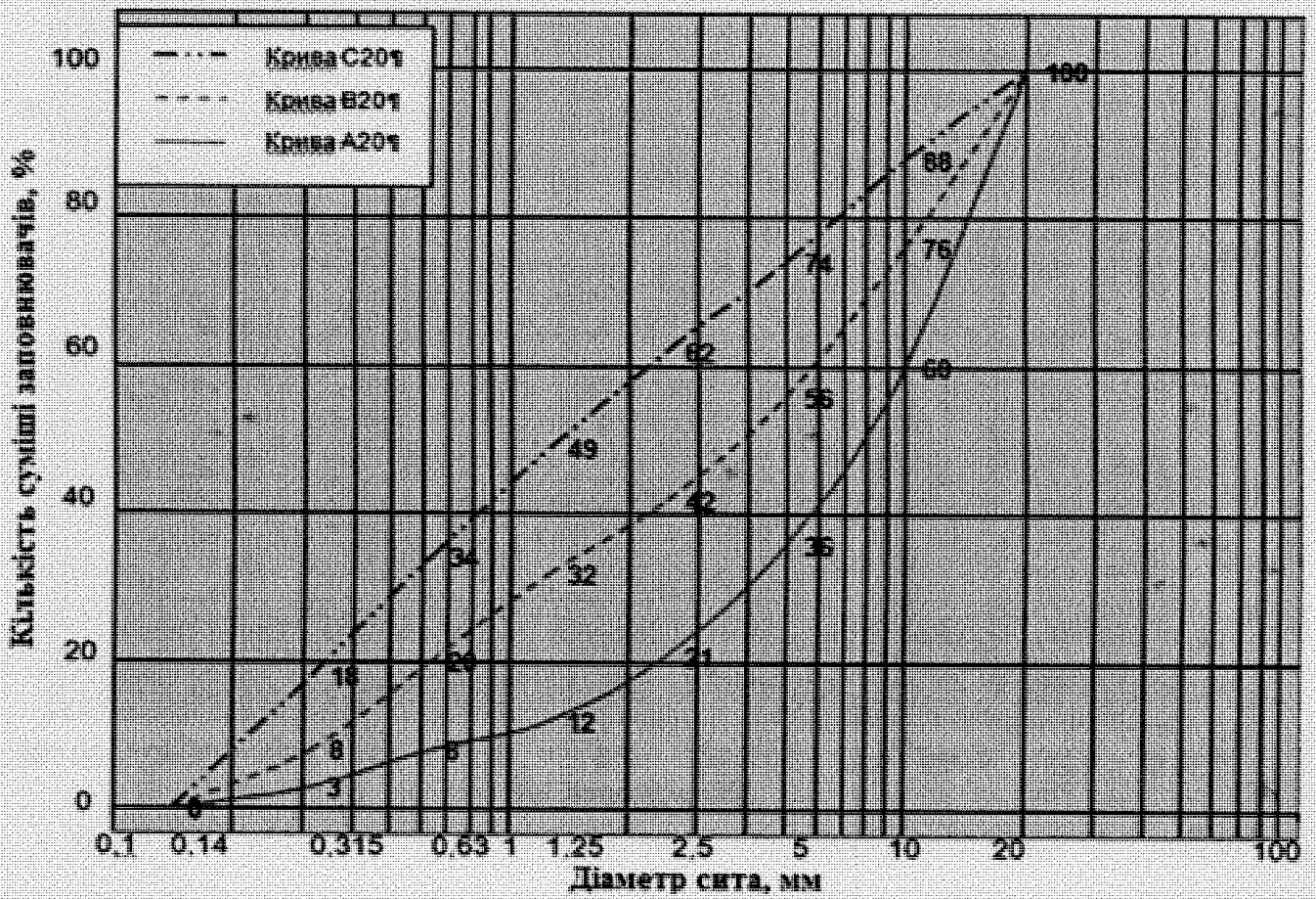


Рисунок 7.2 – Крива розсіву суміші заповнювачів з максимальним розміром зерна 20 мм

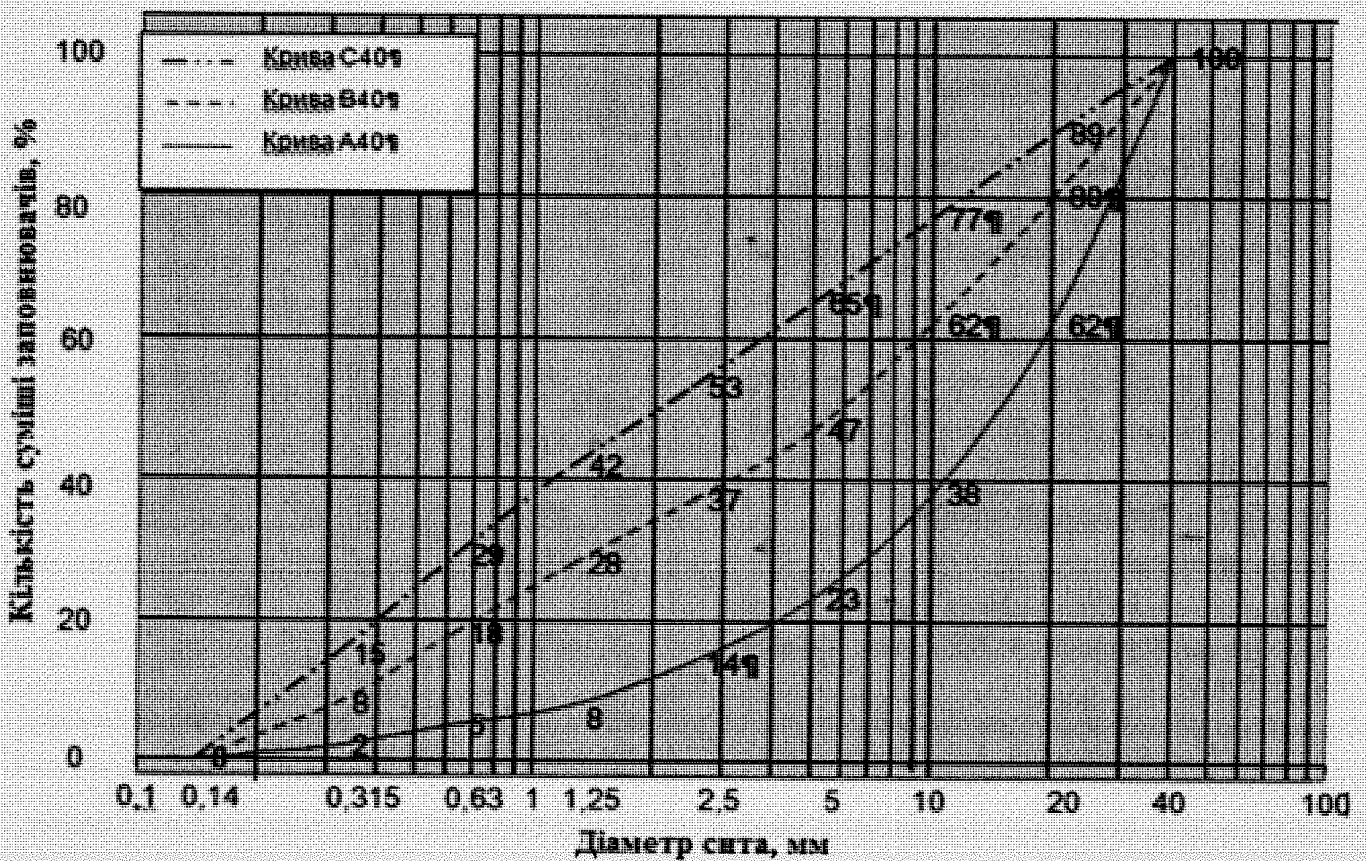


Рисунок 7.3 – Крива розсіву суміші заповнювачів з максимальним розміром зерна 40 мм

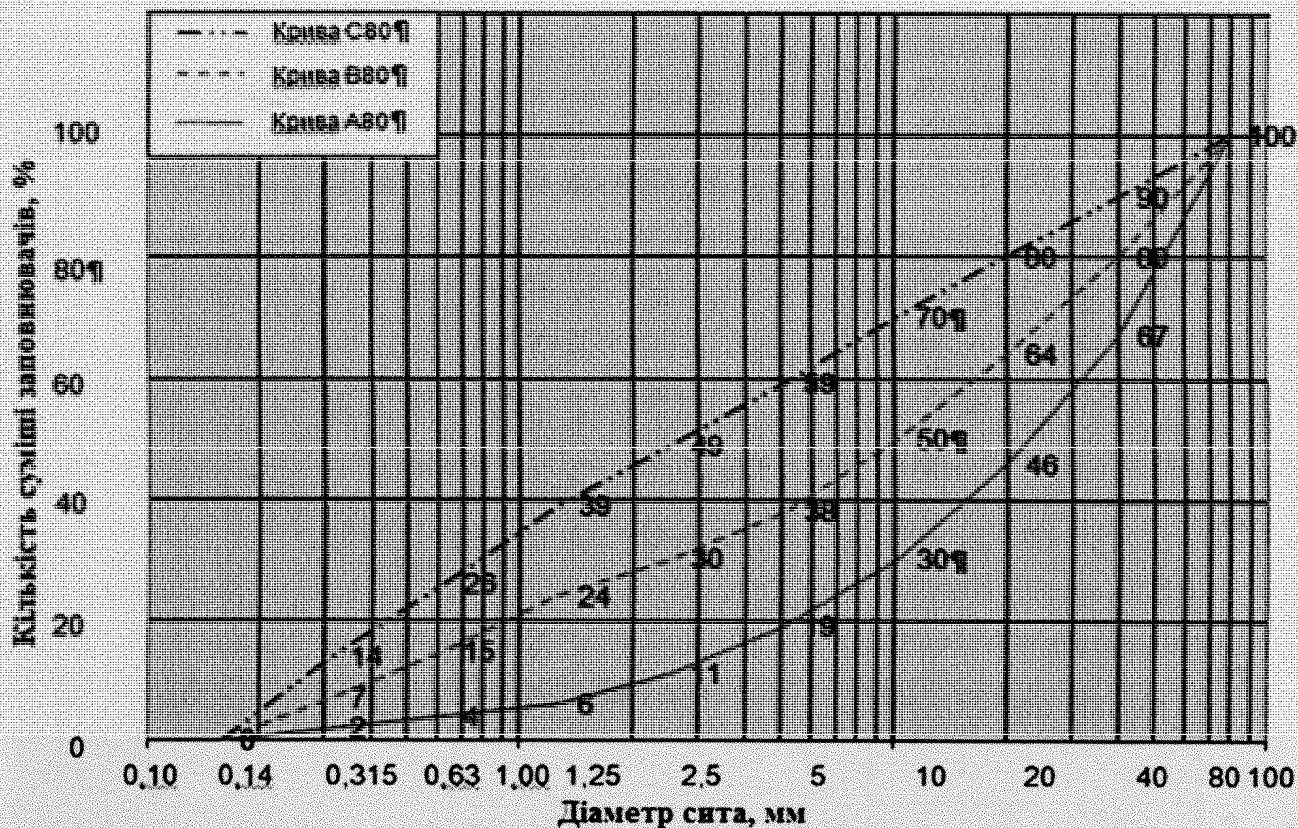


Рисунок 7.4 – Крива розсіву суміші заповнювачів з максимальним розміром зерна 80 мм

7.6 Легкоукладальність бетонної суміші призначають за таблицею 7.2.

Таблиця 7.2

Вид конструкції	Легкоукладальність бетонної суміші	
	Рухомість (ОК), см	Жорсткість (Ж), с
Збірні залізобетонні з жорстких сумішей з миттєвою розпалубкою	0	20-10
Підготовка під підлоги, фундаменти, дорожні і аеродромні покриття	1-2	10-6
Масивні неармовані і малоармовані	2-4	6-4
Каркасні залізобетонні (плити, балки, колони)	4-10	4 і менше
Касети і елементи для об'ємно-збирного домобудівництва	12-18	–
Буроабивні палі, шахтні стволи	16-20	–
Буроін'єкційні палі	18-25	–
Конструкції, що густо насичені арматурою і закладними деталями (стіни АЕС, шви, штраби, пазухи тощо)	20-24	–

Примітка. За відповідного техніко-економічного обґрунтування можуть використовуватися бетонні суміші з іншою легкоукладальністю, в тому числі і суміші, здатні до самоущільнення.

7.7 Кількість втягнутого повітря за об'ємом в ущільненій бетонній суміші повинна бути в межах, наведених в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3

Вид споруди	Кількість втягнутого повітря, %, за об'ємом
Гідротехнічні при НКЩ, мм:	
40	Не більше ніж 5
80	Не більше ніж 4
120	Не більше ніж 3
Дорожні одношарові і верхній шар двошарових покриттів	5-7
Нижній шар двошарових покриттів	3-5

7.8 Межа капілярної пористості морозостійкого бетону повинна бути не більше ніж значення, наведені в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4

Марка бетону за морозостійкістю (F), цикли	Капілярна пористість бетону, %, не більше			
	нормального тверднення на основі цементу		пропареного на основі цементу	
	сульфатостійкого	СЕМ I	сульфатостійкого	СЕМ I
100	6,2	5,2	5,2	4,2
200	4,7	4	3,5	2,5
300	4	3	2,5	2,5
500	2	–	2	–

Примітка. Співвідношення контракційної пористості до капілярної повинно бути не менше ніж 0,25.

7.9 Середні значення коефіцієнтів приросту міцності бетону на цементах різних видів, що тверднуть на повітрі за плюсових температур у віці 90 діб та 180 діб, наведені в таблиці 7.5. При низьких плюсових температурах приріст міцності бетону сповільнюється, що необхідно враховувати при завантаженні конструкцій.

Таблиця 7.5

Вид і мінералогічний склад цементу	Значення коефіцієнту k у віці, діб	
	90	180
Алюмінатний портландцемент ($C_3A \geq 12\%$)	1,05	1,1
Алітовий портландцемент ($C_3S > 50\%$; $C_3A \leq 8\%$)	1,05	1,1
Пуцолановий портландцемент, шлакопортландцемент із вмістом шлаку до 40 %	1,05	1,25
Белітовий портландцемент і шлакопортландцемент із вмістом шлаку більше ніж 40 %	1,1	1,3

Примітка. Значення k можуть визначатись за формулою $k = \lg n / \lg 28$, при $n \geq 3$ (де n – вік бетону, діб). Отриманими даними можна користуватися для орієнтовних розрахунків складів бетону. Міцність бетону у віці n , діб, визначається за формулою $f_{cm} = f_{ck} \cdot k$.

7.10 Марки бетонних сумішей за легкоукладальністю (за осадкою конуса і жорсткістю за Вебе) наведені в ДСТУ Б В.2.7-176. Визначають ці показники згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181).

7.11 Позначення класів бетонів прийняті згідно з вимогами нормативних документів Євросоюзу і наведені в ДБН В.2.6-98 і ДСТУ Б В.2.7-176. Наприклад, позначення класу бетону на стиск С 12/15

означає, що в чисельнику наведена характеристична міцність в МПа зразка бетону на стиск у вигляді циліндра ($f_{ck.cyl}$) діаметром 150 мм і заввишки 300 мм. В знаменнику наведена характеристична міцність в МПа зразка бетону на стиск у вигляді куба ($f_{ck.cube}$) з довжиною ребра 150 мм.

Характеристичну міцність бетону визначають за формулою:

$$f_{ck.cube} = f_{cm} (1 - 1,64C_v) , \quad (7.1)$$

де f_{cm} – середня міцність бетону, МПа,

C_v – коефіцієнт варіації міцності бетону, який в розрахунках приймають згідно діючого на підприємстві коефіцієнта варіації, встановленого на основі даних контролю якості на заводі, або на первинному етапі підбору складу бетону приймають 13,5 % для важкого і легкого бетонів і 17 % – для ніздрюватого бетону, а також бетону масивних гідротехнічних конструкцій.

При $C_v = 13,5$ % середня міцність бетону дорівнює:

$$f_{cm} = f_{ck.cube} / 0,778 . \quad (7.2)$$

Співвідношення між класами і характеристиками бетону за міцністю на стиск і розтяг наведено в додатку В.

7.12 Випробування бетонних сумішей проводять згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181).

7.13 Основні фізико-механічні характеристики бетонів визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-214, ДСТУ Б В.2.7-47 (ГОСТ 10060.0), ДСТУ Б В.2.7-48 (ГОСТ 10060.1), ДСТУ Б В.2.7-49 (ГОСТ 10060.2) та ДСТУ Б В.2.7-170.

7.14 Для запобігання утворення в бетоні на цементах СЕМ І після його пропарювання вторинного еtringіту, необхідно попередньо відформований виріб витримувати не менше ніж дві години, а максимальна температура ізотермічного витримування в залежності від вмісту сульфату в цементі не повинна перевищувати значення, наведеного на рисунку 7.5.



Рисунок 7.5 – Максимальна температура ізотермічного витримування бетону як функція вмісту триоксиду сірки в бетоні

7.15 Орієнтовну витрату води слід призначати згідно з таблицею 7.6.

Таблиця 7.6

ОК, см	Ж, с	Витрата води, $\text{дм}^3/\text{м}^3$, при найбільшій крупності гравію і щебеню, мм							
		гравій				щебінь			
		10	20	40	70	10	20	40	70
–	40-50	150	135	125	120	160	150	135	130
–	25-35	160	145	130	125	170	160	145	140
–	15-20	165	150	135	130	175	165	150	145
–	10-15	175	160	145	140	185	175	160	155
2-4	–	190	175	160	155	200	190	175	170
5-7	–	200	185	170	165	210	200	185	180
8-10	–	205	190	175	170	215	205	190	185
11-12	–	215	205	190	180	225	215	200	190
13-16	–	220	210	197	185	230	220	207	195
17-20	–	227	218	203	192	237	228	213	202
21-25	–	230	222	208	196	242	233	218	207

Примітка 1. Витрата води наведена для суміші на портландцементі з НГЦТ від 26 % до 28 % і на піску з $M_{кр} - 2$.

Примітка 2. При зміні нормальної густоти цементного тіста на кожний відсоток в менший бік витрата води зменшується на (3–5) $\text{дм}^3/\text{м}^3$, а в більший бік – зростає на (3–5) $\text{дм}^3/\text{м}^3$.

Примітка 3. При зміні модуля крупності піску на кожні 0,5 в менший бік витрата води збільшується на (3–5) $\text{дм}^3/\text{м}^3$, а в більший бік – зменшується на (3–5) $\text{дм}^3/\text{м}^3$.

Примітка 4. Крупні заповнювачі повинні мати середню густину від 2000 $\text{кг}/\text{м}^3$ до 2800 $\text{кг}/\text{м}^3$.

Примітка 5. При додаванні суперпластифікатора витрата води зменшується від 10 % до 30 % в залежності від кількості суперпластифікатора і його виду.

Примітка 6. При використанні у складі бетонної суміші мінеральних добавок витрата води уточнюється експериментально і може відрізнятись до 10 % як у меншу, так і у більшу сторону, в залежності від кількості і виду мінеральної добавки.

8 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ

8.1 Розрахунок і визначення вихідного складу важкого бетону виконують в наступній послідовності:

а) визначають В/Ц в залежності від необхідної міцності $f_{ck.cube}$ або орієнтовно за формулами:

– при $V/C \geq 0,4$:

$$V/C = \frac{AR_{ц}}{f_{cm} + 0,5AR_{ц}}, \quad (8.1)$$

– при $V/C < 0,4$:

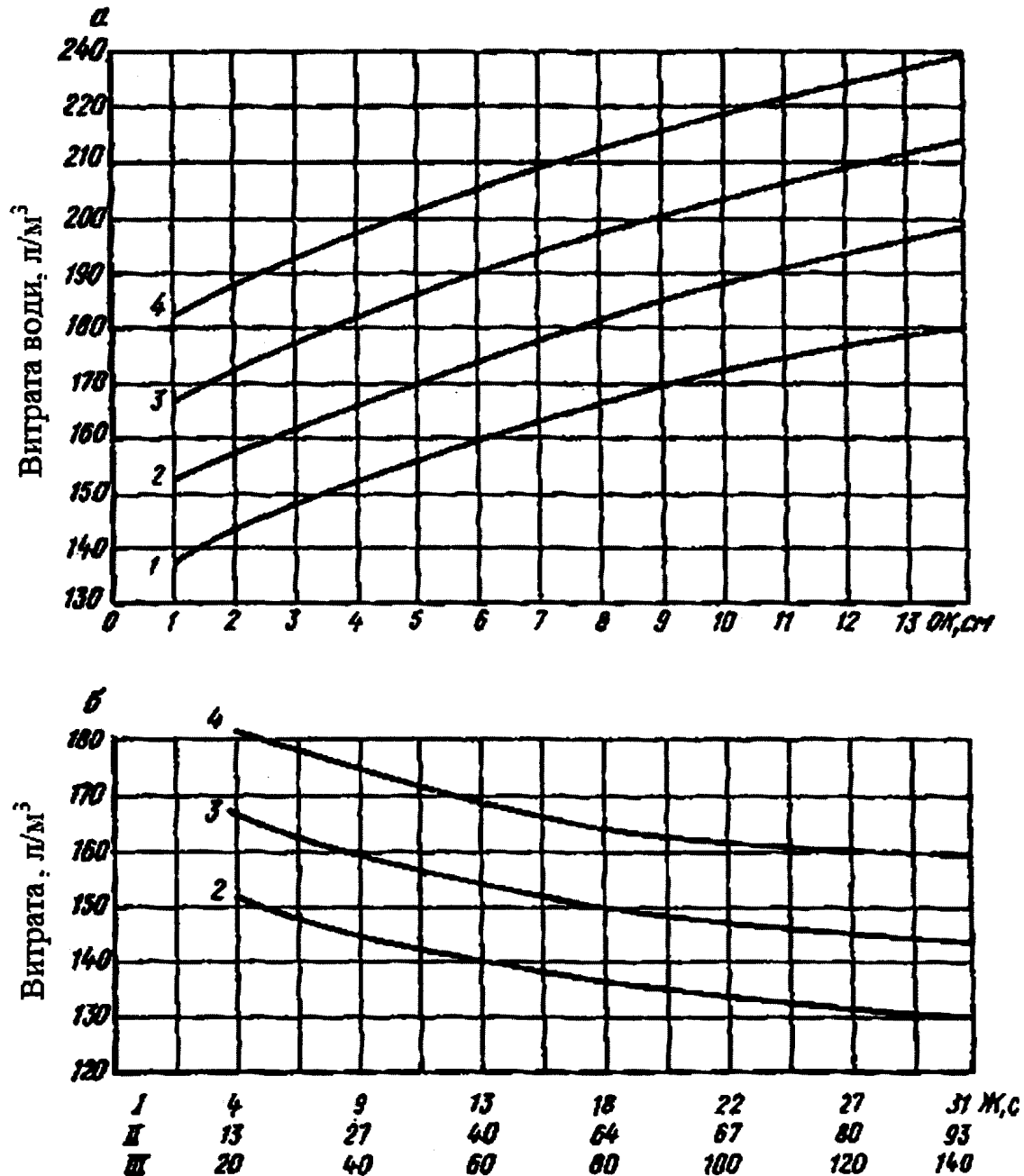
$$V/C = \frac{A_1R_{ц}}{f_{cm} + 0,5A_1R_{ц}}. \quad (8.2)$$

Значення коефіцієнтів A і A_1 приймають згідно з таблицею 8.1.

Таблиця 8.1

Заповнювачі бетону за показниками якості	A	A ₁
Високоякісні	0,65	0,43
Рядові	0,60	0,40
Зниженої якості	0,55	0,37

б) визначають витрату води при необхідній рухливості бетонної суміші на основі результатів попередніх випробувань (рисунок 8.1, таблиця 7.6). Графіки на рисунку 8.1 отримані для бетону на



а – пластичні суміші; б – жорсткі суміші; визначення жорсткості: I – згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) на установці типу Вебе; II – за технічним віскозиметром; III – за спрощеним методом

Рисунок 8.1 – Водопотреба бетонної суміші, виготовленої на гравії найбільшої крупності:
1 лінія – 80 мм; 2 лінія – 40 мм; 3 лінія – 20 мм; 4 лінія – 10 мм

основі гравію, піску середньої крупності з водопотребою піску 7 % та при витраті портландцементу до 400 кг/м³ бетону. При використанні піску з водопотребою менше ніж 7 % витрату води необхідно зменшувати на 5 дм³ на кожний відсоток зменшення водопотреби. При використанні щебеню і пуцоланового цементу витрату води треба відповідно збільшувати від 10 дм³ до 15 дм³. При витраті цементу понад 400 кг/м³ витрату води необхідно збільшувати на 1 дм³ на кожні понаднормовані 10 кг цементу. Методика визначення водопотреби піску і крупного заповнювача наведена в додатку Г;

в) визначають витрату цементу за формулою:

$$Ц = В : В/Ц. \quad (8.3)$$

Якщо витрата цементу на 1 м³ бетону нижче норми, що встановлена в ДСТУ Б В.2.6-145, то необхідно збільшувати його до потрібної норми або вводити тонкомелену добавку. Остання потрібна в тих випадках, коли активність цементу перевищує значення, необхідне для даної середньої міцності бетону;

г) встановлюють коефіцієнт розсунення α для пластичних бетонних сумішей згідно з таблицею 8.2.

Таблиця 8.2

Витрата цементу, кг/м ³	α при В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	–	1,30	1,36	1,42	–
350	–	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,31	1,4	1,46	–	–	–
500	1,44	1,52	1,56	–	–	–
600	1,52	1,56	–	–	–	–

Примітка 1. При інших значеннях Ц і В/Ц коефіцієнт α знаходять інтерполяцією.

Примітка 2. При використанні дрібного піску з водопотребою більше ніж 7 % коефіцієнт α зменшують на 0,03 на кожний відсоток збільшення водопотреби піску. Якщо застосовують крупний пісок з водопотребою менше ніж 7 %, коефіцієнт α збільшують на 0,03 на кожний відсоток зменшення водопотреби піску.

Для жорстких бетонних сумішей при витраті цементу менше ніж 400 кг/м³ коефіцієнт α приймають рівним від 1,05 до 1,15, що в середньому становить 1,1. Значення α менше ніж 1,05 приймають у випадку використання дрібних пісків. Для жорстких сумішей з витратою цементу більше ніж 400 кг/м³ коефіцієнт α призначають не менше ніж 1,1;

д) визначення витрати щебеню (або гравію) за формулою:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{\alpha V_{\text{п.щ}}}{\rho_{\text{нас. щ}}} + \frac{1}{\rho_{\text{щ}}}}; \quad (8.4)$$

е) витрату піску визначають за формулою:

$$П = \left(1000 = \frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}} - В - \frac{Щ}{\rho_{\text{щ}}} \right) \rho_{\text{п}}. \quad (8.5)$$

Приклад 1

Необхідно підібрати склад бетону класу С 16/20, при $f_{\text{cm.cube}} = 30$ МПа, з рухливістю бетонної суміші за осадкою конуса від 4 см до 5 см. Матеріали: портландцемент СЕМ І класу міцності 32,5 N з активністю 37,5 МПа, пісок середньої крупності з водопотребою 7 % і щільністю 2,63 кг/дм³.

Гранітний щебінь з максимальною крупністю 40 мм, щільністю 2,6 кг/дм³, середньою густиною 1,48 кг/дм³, пустотністю 0,43.

Приймаємо середнє значення коефіцієнта А рівним 0,6 (заповнювачі рядові задовольняють вимоги відповідних стандартів, тверднення бетону в нормальних умовах за температури (20 ± 2) °С та вологості більше 90 %).

Визначають:

$$а) В/Ц = \frac{0,6 \cdot 37,5}{30,0 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 37,5} = 0,54;$$

б) згідно з графіками (рисунок 8.1, а) орієнтовну витрату води – 178 кг/м³;

$$в) Ц = 178 : 0,54 = 330 \text{ кг/м}^3;$$

г) згідно з таблицею 8.2 коефіцієнт α – 1,38 (за інтерполяцією);

$$д) Щ = \frac{1000}{\frac{1,38 \cdot 0,43}{1,48} + \frac{1}{2,6}} = 1270 \text{ кг/м}^3;$$

$$е) П = \left(1000 = \frac{330}{3,1} - 178 - \frac{1270}{2,6} \right) 2,63 = 600 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахункова середня густина бетонної суміші становить:

$$\rho_{б.с}^T = 330 + 178 + 600 + 1270 = 2378 \text{ кг/м}^3.$$

Приклад 2

Потрібно підібрати склад бетону класу С 16/20, при $f_{cm.cube} = 30$ МПа, з жорсткістю від 11 с до 12 с згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181). Матеріали ті самі, що і в прикладі 1.

Визначають:

$$а) В/Ц = \frac{0,6 \cdot 37,5}{30,0 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 37,5} = 0,54;$$

б) згідно з графіком (рисунок 8.1, б) орієнтовну витрату води – 150 кг/м³;

$$в) Ц = 150 : 0,54 = 278 \text{ кг/м}^3;$$

г) коефіцієнт α для жорсткої бетонної суміші при помірній витраті цементу приймаємо 1,1;

$$д) Щ = \frac{1000}{\frac{1,1 \cdot 0,43}{1,48} + \frac{1}{2,6}} = 1420 \text{ кг/м}^3;$$

$$е) П = \left(1000 = \frac{278}{3,1} - 150 - \frac{1420}{2,6} \right) 2,63 = 565 \text{ кг/м}^3.$$

8.2 Склад монолітного важкого бетону, що твердне за температури 20 °С, можна визначити за рекомендаціями наведеними в [1].

8.3 Експериментальну перевірку складу бетону виконують в наступній послідовності:

а) виготовляють пробний заміс бетонної суміші і визначають осадку конуса або жорсткість. Якщо рухомість бетонної суміші відповідає заданій, то з неї виготовляють контрольні зразки. При цьому визначають масу укладеної і ущільненої бетонної суміші. Потім зразки випробовують у задані терміни;

б) на кожний термін випробування виготовляють не менше ніж три зразки. Прийоми укладання і ущільнення бетонної суміші повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-214.

Зразки протягом однієї доби зберігають у формах в приміщенні з температурою (20 ± 5) °С, потім звільняють від форм, маркують і до моменту випробувань зберігають у вологому середовищі в спеціальній камері або в періодично зволоженому піску, стружці тощо, за температури (20 ± 3) °С та

вологості (95 ± 5) %. Перед випробуванням ретельно оглядають зразки, вимірюють грані (з точністю до 1 мм), зважують;

в) якщо при виготовленні пробного замісу рухомість суміші відрізняється від заданої або якщо дійсна міцність бетону на стиск відрізняється від заданої більше ніж на (5–8) %, то потрібно внести коригування в склад бетону. Методика коригування складу бетону за рухливістю суміші, вмістом піску і середньою міцністю бетону при стиску наведена у розділі 12 цього стандарту.

9 ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЦЕМЕНТУ У БЕТОНІ І ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ БЕТОНУ

9.1 За відсутності даних про активність цементу рекомендується застосовувати прискорений метод оцінки якості цементу у бетоні і визначення складу бетону необхідного класу.

9.2 Для прискорення оцінки якості цементу у бетоні і одночасного визначення складу бетону необхідного класу використовують лінійну залежність середньої міцності бетону від цементно-водного відношення. Роблять замішування трьох складів бетону з В/Ц від 0,7 до 0,36 або відповідно з Ц/В від 1,43 до 2,8. Виготовляють контрольні склади, які пропарюють або витримують в умовах нормальної температури (20 ± 2) °С і вологості більше 90 %, випробовують на стиск в добовому або іншому віці і відповідно до отриманих даних будують графік залежності f_{cm} від Ц/В. Використання накопичених даних і графіку дозволяє встановлювати Ц/В для отримання необхідної середньої міцності бетону в задані терміни, на основі якого і визначають склад бетону.

9.3 В залежності від найбільшої крупності щебеню, що застосовують, або гравію і розміру контрольних зразків, підготовлюють необхідну кількість матеріалів для виготовлення дев'яти контрольних зразків трьох різних складів (по три зразки з кожного складу), які наведено в таблиці 9.1.

9.4 Наведена в таблиці 9.1 витрата матеріалів достатня для виготовлення по одній серії зразків (по 3 шт.) трьох складів для випробування їх в один термін (наприклад, через 12 год після пропарювання чи у віці 2, 7 або 14 діб нормального тверднення). За необхідності випробування бетону ще у два терміни, наприклад, після пропарювання і додаткового тверднення 27 діб, а також у віці 28 діб нормального тверднення, кількість заготовлених матеріалів має бути потроєно.

9.5 Для уточнення складу бетону за середньою міцністю, рухливістю суміші чи за вмістом піску рекомендується заготовити додаткову кількість матеріалів.

Таблиця 9.1

Ребро куба, см Об'єм, дм ³	НКЗ, мм	Число фракцій крупного заповнювача	Витрата щебеню, кг/%, при розмірі фракції, мм				Витрата, кг		Загальна маса матеріалу, кг	Об'єм щільно укладеної суміші, дм ³
			5-10	10-20	20-40	всього	піску	цементу		
$\frac{10}{1}$	10	1	$\frac{12}{100}$	–	–	$\frac{12}{100}$	7	5	24	10
$\frac{10}{1}$	10	1	$\frac{12}{100}$	–	–	$\frac{12}{100}$	7	5	24	10
$\frac{15}{3,38}$	20	2	$\frac{20}{50}$	$\frac{20}{50}$	–	$\frac{40}{100}$	24	17	81	34
$\frac{20}{8}$	40	2	$\frac{58}{60}$		$\frac{38}{40}$	$\frac{96}{100}$	56	40	192	80
$\frac{20}{8}$	40	3	$\frac{29}{30}$	$\frac{29}{30}$	$\frac{38}{40}$	$\frac{96}{100}$	56	40	192	80

9.6 Підготовлену кількість цементу просіюють через сито з сіткою № 008 згідно з ДСТУ Б В.2.7-188 і грудки, що залишилися, видаляють. Просіяний цемент поміщають в жорстку тару з кришкою, яка щільно закривається.

При використанні цементу, що має грудки, необхідно перевірити його активність і на підставі цього визначити його придатність до застосування при підборі складів бетонних сумішей.

Тонину помелу цементу визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-188.

9.7 Необхідну кількість щебеню і піску просушують, розсіюють за фракціями, видаляють шматки, що залишилися, які крупніші граничних розмірів і складають в чисту тару – ящики чи засіки, наприклад:

- пісок просіюють через сито діаметром 5 мм;
- щебінь фракції (5–10) мм просіюють через сито діаметром 10 мм;
- те саме (10–20) мм і (5–20) мм просіюють через сито діаметром 20 мм;
- те саме (20–40) мм і (5–20) мм просіюють через сито діаметром 40 мм.

9.8 Визначають водопоглинання щебеню (гравію), для чого з різних фракцій відбирають від 3 до 5 чи більше кусків загальною масою не менш ніж 1 кг, зважують, укладають їх на решето і занурюють у воду, рівень якої повинен бути вище шару проби, що замочується, на (5–7) см. Через 0,5 год решето з пробкою виймають з води, дають стекти воді, через (0,5–1,0) год витирають м'якою тканиною шматки щебеню, визначають їх масу і розраховують водопоглинання за формулою:

$$W_{щ} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \cdot 100, \tag{9.1}$$

де $W_{щ}$ – водопоглинання щебеню, %;

P_1 – маса щебеню до занурення у воду, кг;

P_2 – маса вологого щебеню, кг.

9.9 Після підготовки матеріалів, готують три склади бетонної суміші: 1-й склад з Ц/В = 1,43; 2-й склад з Ц/В = 2 і 3-й склад з Ц/В = 2,8.

9.10 Витрата матеріалів на один заміс, з якого має бути заформовано три серії зразків по три куби розміром 10 см × 10 см × 10 см кожного складу бетонної суміші, наведена в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2

Склад	Ц/В В/Ц	Витрата матеріалів, кг, на один заміс для виготовлення дев'яти зразків розміром 10 см × 10 см × 10 см				
		цементу	піску	крупного заповнювача сухого	води основної	води на поглинання крупним заповнювачем
1	$\frac{1,43}{0,7}$	2,5	8,3	13,5	1,74	$\frac{13,5}{100} \cdot W_{щ}$
2	$\frac{2}{0,5}$	3,6	7,5	12,3	1,8	$\frac{12,3}{100} \cdot W_{щ}$
3	$\frac{2,8}{0,36}$	7,7	4,5	10,6	2,73	$\frac{10,6}{100} \cdot W_{щ}$

Примітка 1. Витрата матеріалів на один заміс, наведена в таблиці з деяким надлишком приблизно на (10–11) дм³ ущільненого бетону.

Примітка 2. Для зразків-кубів з ребром 15 см або 20 см витрату кожного матеріалу знаходять множенням витрат, що наведені в таблиці 9.2, на об'єм більшого куба, тобто відповідно на 3,4 дм³ і 8 дм³, як наведено в таблиці 9.1.

9.11 Відважені на один заміс матеріали для кожного складу змішують вручну чи в змішувачі і встановлюють для вже перемішаної бетонної суміші середню густину, рухомість (осадку конуса чи жорсткість).

9.12 З кожного складу бетонної суміші формують дев'ять зразків-близнюків. Суміш ущільнюють на стандартній віброплощадці до повного закінчення її осідання, вирівнювання і появи на всій поверхні цементного розчину або методом штикування. На форму будь-якою фарбою, стійкою до вологих і температурних умов, наносять номер складу, з якого в цій формі виготовлені зразки, чи навішують металеву бирку з набитим номером складу.

9.13 Після виготовлення і 2 год витримки шість зразків кожного складу розміщують у формах в камері для тепловологої обробки, де піддають тепловій обробці при атмосферному тиску за наступним режимом:

а) якщо бетонна суміш виготовлена на портландцементі СЕМ I: 3 год – підйом, 6 год – витримка при температурі ізотермічного нагріву (60–65) °С і 2 год – охолодження;

б) якщо бетонна суміш виготовлена на шлакопортландцементі СЕМ III чи пуцолановому портландцементі СЕМ IV: 3 год – підйом, 8 год – витримка при температурі ізотермічного прогрівання (80–85) °С і 2 год – охолодження.

Три зразки, що залишились, кожного складу витримують у формі протягом 1 доби при кімнатній температурі. З метою запобігання висихання бетону, форму необхідно накрити вологою ганчіркою.

На заводах залізобетонних виробів пропарювання можуть здійснювати за прийнятим на заводі режимом.

9.14 Через 12 год з моменту відключення пари зразки виймають з форм, переносять маркування з форми на кожний зразок і випробовують на стиск три з шести пропарених зразків згідно з ДСТУ Б В.2.7-214.

Три пропарених зразки, що залишились, кожного складу і три зразки, що не були пропарені, після розпалублення із форм розміщують в камеру для нормального зберігання для випробувань у віці 28 діб.

9.15 Результати випробувань на стиск кубів різних розмірів зводять до міцності кубів з ребром 15 см, для чого їх міцність перемножують:

- на 0,95, якщо був випробуваний куб з ребром 10 см;
- на 1,05, якщо був випробуваний куб з ребром 20 см.

На заводі або будівельному майданчику можуть бути встановлені для своїх пресів і форм інші переводні коефіцієнти згідно з ДСТУ Б В.2.7-214.

9.16 За результатами зразків на стиск виводять середню міцність бетону кожного складу згідно з ДСТУ Б В.2.7-214.

9.17 Для побудови залежності $f_{cm} = f(\text{Ц/В})$ (де f_{cm} – міцність бетону після теплової обробки) на горизонтальній вісі відкладають значення Ц/В, а на вертикальній – міцність в МПа. На рисунку 9.1, а) відкладають три точки, абсциси яких показують Ц/В, а ординати – отриману середню міцність, що зведена до міцності куба з ребром 15 см. Через відкладені точки проводять пряму, яка і є графічним зображенням функції, що знаходиться.

У випадку, якщо пряма не проходить через три точки і будь-яка з них по ординаті відхиляється від можливого розташування на проведеній прямій з тією ж абсцисою більше ніж на 10 %, дослід має бути повторений.

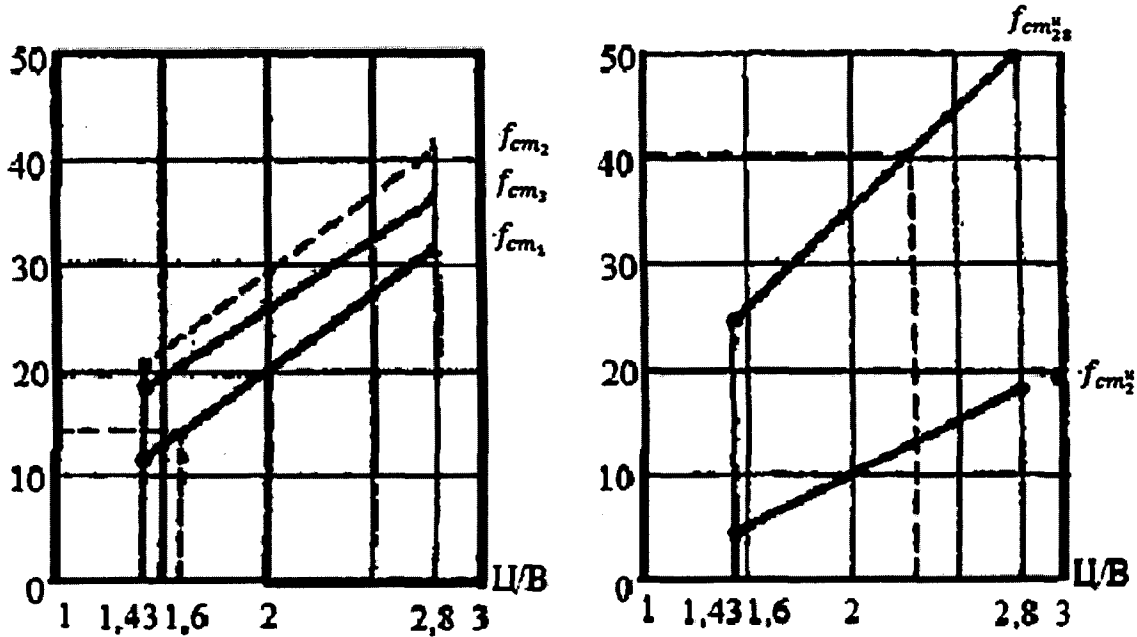
Приклад побудови функції $f_{cm} = f(\text{Ц/В})$ наведено на рисунку 9.1, а).

9.18 На заводах залізобетонних виробів побудови функції $f_{cm} = f(\text{Ц/В})$ достатньо для вибору Ц/В і для отримання бетону заданої міцності.

Якщо після остигання потрібно, наприклад, міцність бетону, що дорівнює 70 % від міцності у проектному віці, яка становить 20 МПа, то необхідно знайти Ц/В для міцності 14 МПа і через точку міцності 14 МПа на вісі ординат проводять пряму паралельно вісі абсцис до перетину з прямою f_{cm} . Абсциса точки перетину дає шукану величину Ц/В = 1,6 (див. рис. 9.1, а).

а) – f_{cm} , МПа

б) – f_{cm} , МПа



а – при пропарюванні і нормальному твердненні: f_{cm_1} – випробуваного через 12 год після відключення пари; f_{cm_2} – випробуваного через 27 діб наступного нормального тверднення; f_{cm_3} – нормального тверднення у віці 28 діб; б – при нормальному твердненні: $f_{cm_2}^N$ – у віці 2 діб; $f_{cm_{28}}^N$ – у віці 28 діб

Рисунок 9.1 – Міцність бетону в залежності від цементно-водного відношення

Якщо було б потрібно забезпечити повну проектну міцність відразу після остигання, лінію, паралельну абсцисі, довелось би провести через точку ординати 20 МПа. В цьому випадку Ц/В = 2.

9.19 На будівельному майданчику, коли необхідна міцність, як правило, повинна бути забезпечена у віці 28 діб, побудови функції $f_{cm_1} = f(\text{Ц/В})$ недостатньо. Необхідно побудувати функцію $f_{cm_3} = f(\text{Ц/В})$; з цією метою потрібно користуватися значеннями М, що наведені в колонках чи рядках $f_{cm_3} = f(f_{cm_1})$ (таблиця 9.3), підрахувати величини f_{cm_3} при будь-яких двох значеннях Ц/В, наприклад: 1,43 і 2,8.

9.20 Якщо при випробуваннях зразків після їх пропарювання і остигання отримані міцності для побудови f_{cm_1} при Ц/В = 1,43, $f_{cm} = 11,5$ МПа і при Ц/В = 2,8, $f_{cm} = 31,0$ МПа, то при тих же значеннях Ц/В для побудови f_{cm_3} маємо (див. таблицю 9.3):

– при Ц/В = 1,43
$$f_{cm_3} = 11,5 \cdot \frac{158}{100} = 18,2 \text{ МПа};$$

– при Ц/В = 2,8
$$f_{cm_3} = 31,0 \cdot \frac{120}{100} = 37,2 \text{ МПа}.$$

На рисунку 9.1, а) наведена пряма залежність $f_{cm_3} = f(f_{cm_1})$.

9.21 В тих випадках, коли важливою є міцність пропареного бетону через 27 діб наступного тверднення в нормальних умовах за температури (20 ± 2) °С та вологості більше 90 %, будують $f_{cm_2} = f(f_{cm_1})$. Дані для цієї побудови наведені в таблиці 9.3, де знаходять:

– при Ц/В = 1,43
$$f_{cm_2} = \frac{177}{100} \cdot f_{cm_1} = \frac{177}{100} \cdot 11,5 = 20,4 \text{ МПа};$$

– при Ц/В = 2,8
$$f_{cm_2} = \frac{135}{100} \cdot f_{cm_1} = \frac{135}{100} \cdot 31,0 = 42,0 \text{ МПа}.$$

На рисунку 9.1, а) наведена пряма залежність $f_{cm_2} = f(f_{cm_1})$.

9.22 Наведені розрахунки, виконані із залученням даних відповідно до таблиці 9.3, перевіряють далі при випробуванні зразків, витриманих після пропарювання 27 діб в нормальних умовах, і зразків, що не були пропарені, витриманих в нормальних умовах 28 діб.

9.23 Для перевірки активності цементу, застосованого для бетону, використовують залежність $f_{cm_1} = f(R_{ц})$ (див. табл. 9.3).

Оскільки f_{cm_1} як функція від $R_{ц}$ може бути встановлена при різних значеннях В/Ц, слід прийняти значення, якому відповідає найменша величина коефіцієнта варіації; $S_v = 15\%$ і є найменшою величиною. $R_{ц}$ знаходять як частку ділення f_{cm_1} при Ц/В = 2,8 на 0,85 (див. таблицю 9.3), а саме:

$$R_{ц} = \frac{f_{cm_1} \cdot 100}{85} = \frac{31,0 \cdot 100}{85} = 36,5 \text{ МПа.}$$

9.24 В умовах монолітного будівництва випробування цементу в бетоні і встановлення визначення В/Ц виконують без прискороного тверднення бетону пропарюванням.

9.25 Зразки-куби, виготовлені так, як це встановлено для бетону з пропарюванням (див. 9.12), зберігають в нормальних умовах за температури $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ та вологості більше 90 %, і випробовують по 3 шт. від кожного складу через 2, 7 і 28 діб або через 7, 14 і 28 діб.

9.26 Результати випробування через (2, 7 або 14 діб) можуть бути використані для побудови залежності:

$$f_{cm_{28}^H} = f\left(f_{cm_2^H}\right) = f\left(f_{cm_7^H}\right) = f\left(f_{cm_{14}^H}\right).$$

При цьому, використання функції $f_{cm_7^H}$ або $f_{cm_{14}^H}$ дає більш точний результат, аніж функція $f_{cm_2^H}$, як це визначено з величини мінливості згідно з таблицею 9.4, в якій наведені коефіцієнти міцності бетону нормального тверднення.

Таблиця 9.3

Ц/В	$f_{cm_2} = f(f_{cm_1})$			$f_{cm_3} = f(f_{cm_1})$			$f_{cm_1} = f(R_u)$			$f_{cm_2} = f(R_u)$			$f_{cm_1} = f(f_{cm_3})$			$f_{cm_2} = f(f_{cm_3})$		
	M	S	C _v	M	S	C _v	M	S	C _v	M	S	C _v	M	S	C _v	M	S	C _v
1,43	177	44	25	158	37	23	27	10	37	44	16	36	67	14	21	116	18	15
2	143	23	16	131	22	17	54	10	20	71	12	20	78	11	15	115	17	15
2,5	138	24	17	123	20	17	72	12	17	96	19	20	81	13	16	112	16	14
2,8	135	22	17	120	21	18	85	16	15	110	20	18	83	14	17	110	16	14
	$f_{cm_2} = \frac{f_{cm_1} \cdot M}{100}$			$f_{cm_3} = \frac{f_{cm_1} \cdot M}{100}$			$f_{cm_1} = \frac{R_u \cdot M}{100}$ $R_u = \frac{f_{cm_1} \cdot 100}{M}$			$f_{cm_2} = \frac{R_u \cdot M}{100}$ $R_u = \frac{f_{cm_2} \cdot 100}{M}$			$f_{cm_1} = \frac{f_{cm_3} \cdot M}{100}$			$f_{cm_2} = \frac{f_{cm_3} \cdot M}{100}$		

Примітка. Всі величини наведені у відсотках. Позначки f_{cm_1} , f_{cm_2} , f_{cm_3} – відповідно до рисунка 9.1, а); M – середній коефіцієнт міцності; S – середньоквадратичне відхилення; C_v – коефіцієнт варіації.

Таблиця 9.4

Ц/В	$f_{cm_2}^H$ у % $f_{cm_{28}}^H$			$f_{cm_7}^H$ у % $f_{cm_{28}}^H$			$f_{cm_{14}}^H$ у % $f_{cm_{28}}^H$		
	M	S	C _v	M	S	C _v	M	S	C _v
1,43	<u>47</u>	<u>9,2</u>	<u>19,5</u>	<u>73</u>	<u>9</u>	<u>12</u>	<u>89</u>	<u>7,6</u>	<u>8</u>
	20	7,8	39	62	9,8	15,8	83	7,5	9
2	<u>56</u>	<u>8,4</u>	<u>15</u>	<u>84</u>	<u>8,6</u>	<u>10,2</u>	<u>94</u>	<u>7,8</u>	<u>8,3</u>
	31	8,5	27	71	7,7	10,9	84	6	7,1
2,8	<u>68</u>	<u>10,5</u>	<u>15,4</u>	<u>86</u>	<u>8,5</u>	<u>9,8</u>	<u>95</u>	<u>5,4</u>	<u>5,7</u>
	37	8	22	77	8	10,3	88	7	8

Примітка. Цифри над рискою наведені для швидкотверднучих цементів підвищеної дисперсності від 4000 см²/г до 4500 см²/г, під рискою – для звичайних цементів з дисперсністю від 2500 см²/г до 3000 см²/г. Для проміжних значень дисперсності множник M необхідно брати за інтерполяцією.

9.27 Для побудови функції $f_{cm_{28}}^H = f\left(f_{cm_2}^H\right)$ або $f_{cm_{28}}^H = f\left(f_{cm_7}^H\right)$ слід випробувати три з дев'яти кубів кожного складу у віці 2 діб або 7 діб. Знаходять середню міцність і зводять її до міцності кубів з ребром 15 см. За отриманими міцностями будують функцію $f_{cm_2}^H f$ (Ц/В) або $f_{cm_7}^H f$ (Ц/В) і далі, користуючись величиною М згідно з таблицею 9.4 (з урахуванням тонини помелу цементу), знаходять значення $f_{cm_{28}}^H = f\left(f_{cm_2}^H\right)$ або $f_{cm_{28}}^H = f\left(f_{cm_7}^H\right)$. Наприклад, бетон, виготовлений із цементу з питомою поверхнею, що визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-188, що дорівнює 2800 см²/г, при випробуванні у віці 2 діб, показав середні міцності, зведені до стандартного зразка:

- при Ц/В = 1,43 $f_{cm_2}^H$ 4,9 МПа;
- при Ц/В = 2 $f_{cm_2}^H$ 10,5 МПа;
- при Ц/В = 2,8 $f_{cm_2}^H$ 18,0 МПа.

З урахуванням дисперсності цементу згідно з таблицею 9.4 і $f_{cm_2}^H$ знаходять $f_{cm_{28}}^H$:

- при Ц/В = 1,43 $f_{cm_{28}}^H = f_{cm_2}^H \cdot \frac{20}{100} = 4,9 \cdot \frac{20}{100} = 24,5$ МПа;
- при Ц/В = 2 $f_{cm_{28}}^H = f_{cm_2}^H \cdot \frac{31}{100} = 10,5 \cdot \frac{31}{100} = 33,8$ МПа;
- при Ц/В = 2,8 $f_{cm_{28}}^H = f_{cm_2}^H \cdot \frac{37}{100} = 18,0 \cdot \frac{37}{100} = 48,6$ МПа.

9.28 За отриманими міцностями будують графік залежності $f_{cm_{28}}^H = f$ (Ц/В), за яким знаходять потрібне для бетону значення Ц/В (див. рисунок 9.1, б).

Нехай на матеріалах, які застосовувались в останніх замісах, необхідно отримати бетон класу С 32/40 для монолітного будівництва, що твердне за нормальних умов. Проводимо горизонтальну лінію від точки $f_{cm} = 40$ МПа до перетину з прямою $f_{cm_{28}}^H$ і далі опускаємо перпендикуляр на вісь абсцис. Отримуємо значення Ц/В = 2,3. Далі підбір складу бетону проводять аналогічно наведеному в розділі 8 цього стандарту. За графіком згідно з рисунком 8.1 або за таблицею 7.6 встановлюють водопотребу бетону. Потім згідно з формулою (8.3) визначають витрату цементу. За різницею середньої густини бетонної суміші і цементного тіста визначають масу суміші заповнювачів. Значення ρ приймають згідно з таблицею 9.5.

Таблиця 9.5

Витрата цементу в бетоні, кг/м ³	Бетон з гравієм				Бетон з щебенем			
	Найбільший розмір заповнювача, мм							
	10	20	40	70	10	20	40	70
200	0,42	0,4	0,38	0,37	0,45	0,43	0,41	0,4
300	0,4	0,38	0,36	0,35	0,43	0,41	0,4	0,39
400	0,38	0,36	0,35	0,34	0,4	0,38	0,37	0,36
500	0,36	0,35	0,34	0,33	0,38	0,36	0,35	0,34

Потім визначають витрату піску і крупного заповнювача на 1 м³ бетону. Відношення між фракціями крупного заповнювача приймають відповідно до таблиці 7.1.

Проектна активність цементу приблизно дорівнює за величиною $f_{cm_{28}}^H$ при Ц/В = 2,8. У вище наведеному прикладі відповідно до 9.27 був застосований цемент активністю 50 МПа.

Приклад 1

Необхідно встановити активність портландцементу, якщо при випробуванні його в бетоні після теплової обробки і остигання були отримані наступні міцності в перерахунку на контрольний куб розміром 15 см × 15 см × 15 см:

- при Ц/В = 1,43 $f_{cm_1} = 20$ МПа;

- при Ц/В = 2 $f_{cm1} = 32,5$ МПа;
- при Ц/В = 2,8 $f_{cm1} = 50$ МПа.

Користуючись даними графі $f_{cm1} = f(R_{ц})$ (таблиця 9.3), відмічають, що найменше значення коефіцієнта варіації C_v отримано при Ц/В = 2,8. Приймають $M = 85\%$ для цього значення Ц/В і записують:

$$f_{cm1} = 85\% \cdot R_{ц},$$

звідси:

$$R_{ц} = f_{cm1} \cdot \frac{100}{85} = \frac{50,0 \cdot 100}{85} = 59 \text{ МПа.}$$

Відповідно, застосований портландцемент має активність 59 МПа.

Приклад 2

Необхідно вибрати Ц/В – відношення для бетону класу С 25/30 нормального тверднення, якщо дані за міцністю після пропарювання і остигання становлять величини, наведені в прикладі 1.

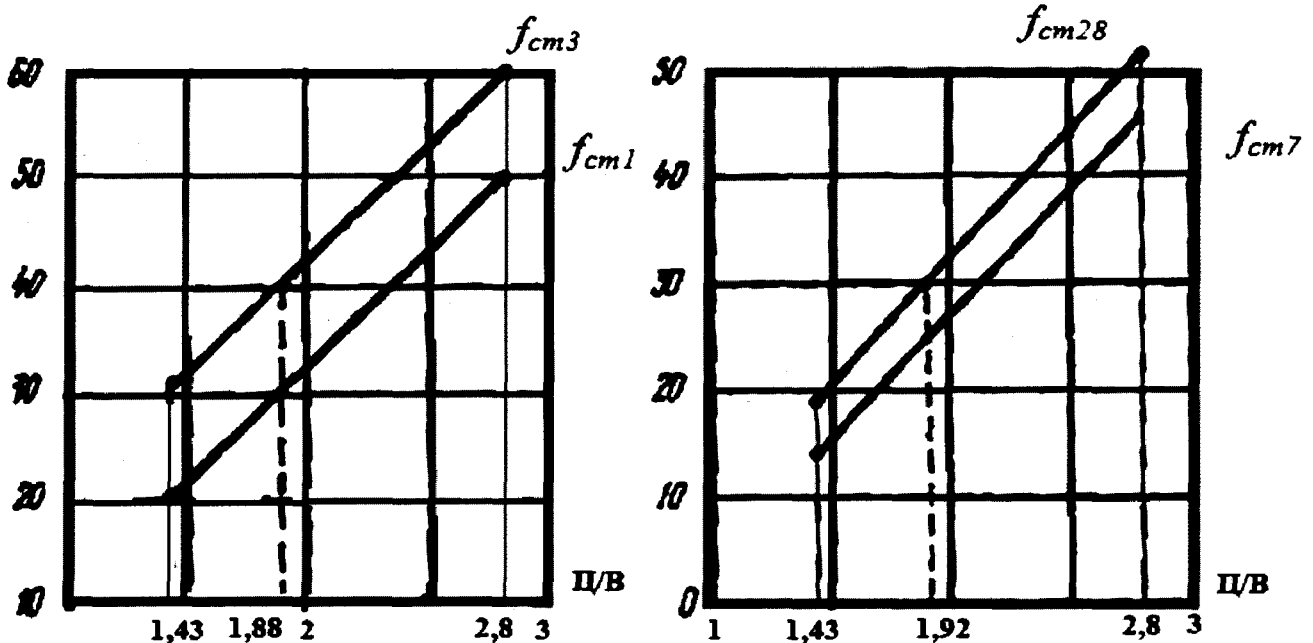
Користуючись показниками графі $f_{cm3} = f(f_{cm1})$ (таблиця 9.3), знаходять:

- при Ц/В = 1,43 $f_{cm3} = \frac{158}{100} \cdot f_{cm1} = 1,58 \cdot 20 = 31,7$ МПа;
- при Ц/В = 2 $f_{cm3} = \frac{131}{100} \cdot f_{cm1} = 1,31 \cdot 32,5 = 42,6$ МПа;
- при Ц/В = 2,8 $f_{cm3} = \frac{120}{100} \cdot f_{cm1} = 1,2 \cdot 50 = 60$ МПа.

Будують графік залежності $f_{cm3} = f(f_{cm1})$ і встановлюють, що шукане В/Ц = 1,88 (див. рисунок 9.2, а).

а) – f_{cm} , МПа

б) – f_{cm} , МПа



- а) – f_{cm1} і f_{cm3} (див. рисунок 9.1, а);
- б) – f_{cm7} і f_{cm28} (див. рисунок 9.1, б)

Рисунок 9.2 – Графіки для визначення потрібної величини Ц/В у бетоні

Приклад 3

Потрібно розрахувати склад бетонної суміші за наступними даними:

- а) бетон класу С 16/20 після тверднення за нормальних умов;
- б) рухомість суміші – відразу після перемішування з осадкою конуса 5 см;
- в) крупний заповнювач – вапняковий щебінь (НКЩ = 20 мм);
- г) кварцовий пісок з вологістю 3 %;
- д) цемент з питомою поверхнею 4200 см²/г;
- е) зразки повинні бути випробувані у віці 7 діб.

Розрахунок складу бетонної суміші виконують так:

а) підбирають розмір зразків для побудови залежності: $f_{cm} = f(C/V)$. Дано куб розміром 15 см × 15 см × 15 см. Об'єм даного куба $V = 1,5^3 \approx 3,4$ дм³;

б) для проведення дослідних замішувань бетонної суміші згідно з 9.3 даного стандарту, заготовляють 40 кг щебеню, відфракціонують, просіюють його через сито діаметром 20 мм і висушують до постійної маси;

в) визначають водопоглинання щебеню після занурення його у воду на 0,5 год. Нехай маса щебеню $P_1 = 2,1$ кг підвищилась до $P_2 = 2,12$ кг. Відповідно, водопоглинання щебеню становитиме:

$$W_{щ} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \cdot 100 = \frac{2,12 - 2,1}{2,1} \cdot 100 = 1\%;$$

г) відбирають пробу піску згідно з 9.3 даного стандарту – 24 кг, висушують її до постійної маси;

д) підраховують необхідну кількість матеріалів на один заміс, помножуючи дані

таблиці 9.2 даного стандарту на об'єм форми куба розміром 15 см × 15 см × 15 см, тобто на 3,4;

е) виготовляють три заміси і відформовують по 9 зразків з кожного складу бетонної суміші для випробувань у три терміни у віці 2, 7 або 14 і 28 діб.

Встановлюють середню густину свіжеукладеної і ущільненої бетонної суміші за формулою:

$$\rho_{б.с.}^{\phi} = \frac{g_2 - g_1}{V_{\phi}},$$

де g_1 – маса форми 15 см × 15 см × 15 см, кг;

g_2 – те саме, з ущільненою бетонною сумішшю;

V_{ϕ} – об'єм форми, дм³.

Припустимо, отримали $\rho_b = 2,36$ кг/л або 2360 кг/м³.

Виготовлені зразки-куби розміром 15 см × 15 см × 15 см при випробуванні через 7 діб нормального тверднення показали наступні середні міцності:

- при Ц/В = 1,43 $f_{cm7} = 13,6$ МПа;
- при Ц/В = 2 $f_{cm7} = 26,0$ МПа;
- при Ц/В = 2,8 $f_{cm7} = 46,0$ МПа.

За отриманими даними будують графік залежності $f_{cm7} = f(C/V)$, наведений на рисунку 9.2, б).

Користуючись даними таблиці 9.4 даного стандарту, знаходять:

- при Ц/В = 1,43 $f_{cm28} = 13,6 : 0,73 = 18,6$ МПа;
- при Ц/В = 2,8 $f_{cm28} = 46 : 0,86 = 53,5$ МПа.

Будують графік функції (див. рисунок 9.2, б), з якого впливає, що для бетону класу С 16/20 необхідно прийняти Ц/В ≈ 1,9.

Встановивши значення Ц/В для бетону класу С 16/20 нормального тверднення, що дорівнює 1,9, виконують розрахунок складу бетону на 1 м³:

а) згідно з таблицею 7.6 даного стандарту приймають витрату води: $V = 185$ дм³/м³;

б) визначають витрату цементу:

$$Ц = 185 \cdot 1,9 = 352 \text{ кг/м}^3;$$

в) визначають витрату заповнювачів у бетоні:

$$\text{Щ} + \text{П} = \rho_b - \text{Ц} - \text{В} = 2360 - 352 - 185 = 1823 \text{ кг/м}^3;$$

г) згідно з таблицею 9.5 даного стандарту приймають значення $r = 0,38$ і підраховують вміст піску у бетоні:

$$\text{П} = (\text{Щ} + \text{П}) \cdot r = 1823 \cdot 0,38 = 692 \text{ кг/м}^3;$$

д) підраховують вміст щебеню у бетоні як різницю маси заповнювачів і маси піску:

$$\text{Щ} = (\text{Щ} + \text{П}) - \text{П} = 1823 - 692 = 1131 \text{ кг/м}^3;$$

е) записують номінальний (на сухих заповнювачах) склад бетону в ущільненому стані на 1 м^3 :

– Ц = 352 кг;

– П = 692 кг;

– Щ = 1131 кг;

– В = 185 кг;

$\rho_b = 2360$ кг.

Виконують перевірочний заміс бетону об'ємом 10 дм^3 .

Для цього беруть Ц = 3,52 кг; П = 6,92 кг; Щ = 11,31 кг; В = 1,85 дм³.

Перед замісом насичують щебінь водою, опускаючи його в решітку чи у ящик з дірчастими стінками і дном у воду на 0,5 год, потім виймають, дають воді стекти і через 0,5 год витирають щебінь м'якою тканиною.

Ретельно змішують сухий пісок з цементом, потім з вологим щебенем і далі з водою до однорідної консистенції. Визначають рухомість отриманої суміші за осадкою конуса. Якщо при дворазовому визначенні отримали необхідну за завданням осадку конуса (5 см), підібраний склад бетону можна передавати на виробництво. Обов'язково перевіряють середню густину ущільненого бетону. Якщо вона відрізняється від розрахункової більше ніж на 1 %, склад бетону потрібно перерахувати за уточненою середньою густиною.

Якщо рухомість бетонної суміші відрізняється від заданої, коригування складу бетону проводять як наведено в розділі 12 даного стандарту.

10 ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ БЕТОНУ ЗА ТАБЛИЦЯМИ, ГРАФІКАМИ, НОМОГРАМАМИ

10.1 Розрахунок складу бетону проводять в наступному порядку:

а) водоцементне відношення визначають за формулою:

$$B/C = \frac{AR_c}{\frac{f_{cm}}{K_1 \cdot K_2} + 0,5 \cdot A \cdot R_c} \quad (10.1)$$

Коефіцієнт А визначають в залежності від чистоти заповнювачів згідно з таблицею 10.1, K_1 і K_2 – згідно з таблицею 10.2.

Таблиця 10.1

Вид заповнювача	Вміст глини, пилу та мулу в щебені і піску, %	Сумарний вміст глини, пилу та мулу, % (в наважці щебеню 3 кг, піску 1 кг)	Значення коефіцієнта А для бетону на		
			щебені	гравії гірському	гравії річному і морському
Щебінь (гравій) Пісок	0 0	0	0,64	0,6	0,57
Щебінь (гравій) Пісок	0 3	0,75	0,61	0,56	0,53

Кінець таблиці 10.1

Вид заповнювача	Вміст глини, пилу та мулу в щебені і піску, %	Сумарний вміст глини, пилу та мулу, % (в наважці щебеню 3 кг, піску 1 кг)	Значення коефіцієнта А для бетону на		
			щебені	гравії гірському	гравії річному і морському
Щебінь (гравій) Пісок	1 3	1,5	0,58	0,53	0,5
Щебінь (гравій) Пісок	2 3	2,2	0,55	0,5	0,47
Щебінь (гравій) Пісок	2*) 5*)	2,8	0,52	0,47	0,44

*) Якщо на зернах щебеню і піску є пилове покриття, такі заповнювачі допускається застосовувати тільки для бетонів класу С 16/20 і нижче після дослідної перевірки у бетонах.

Таблиця 10.2

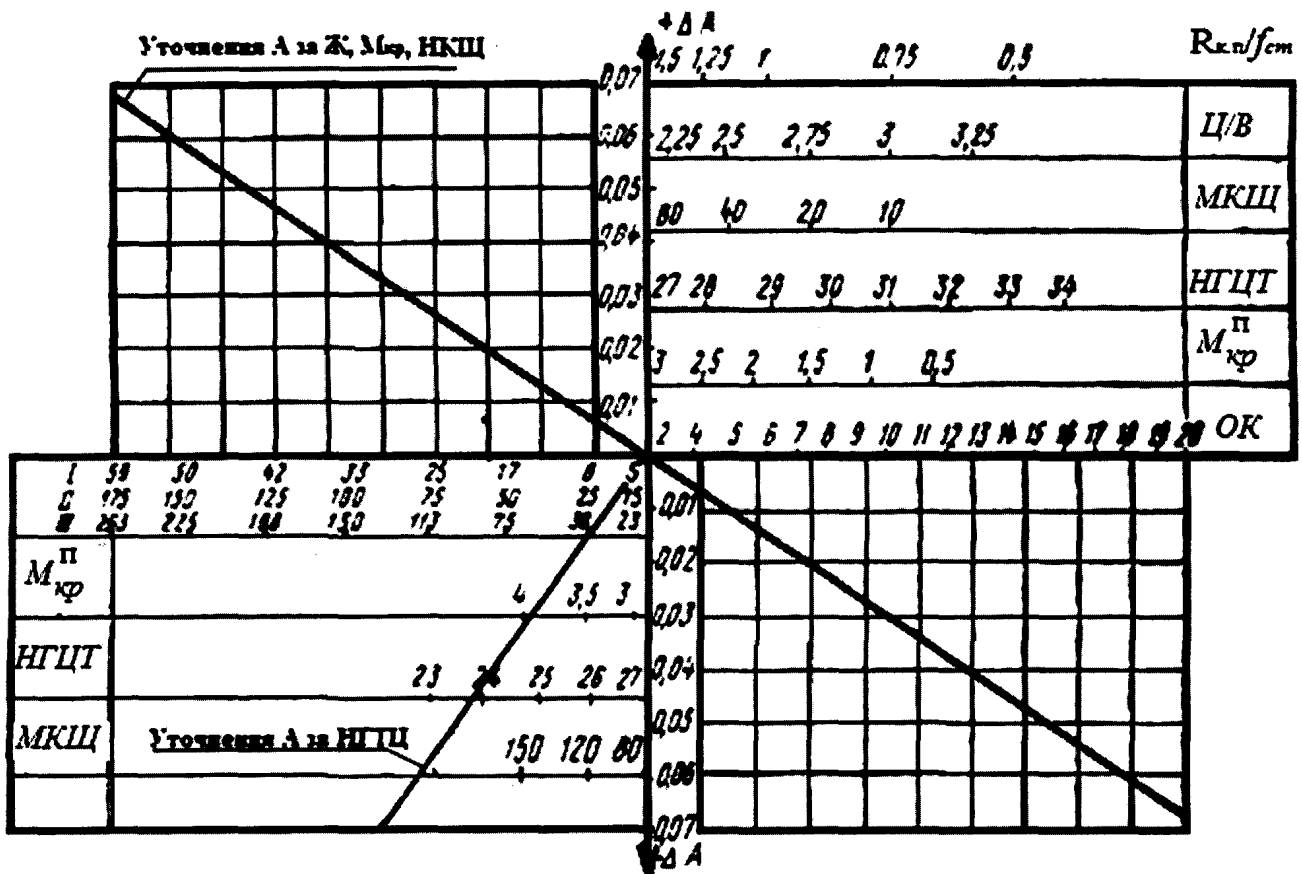
Мінералогічний склад клінкеру цементу і виробничі умови	Значення коефіцієнтів	
	K ₁	K ₂
Бетон пропарюваний		
Високоалюмінатний (C ₃ A > 10 %, < 15 %)	0,88	–
Середньоалюмінатний (C ₃ A < 10 %, > 6 %)	0,92	–
Низькоалюмінатний (C ₃ A < 6 %)	0,99	–
Високоалітовий (C ₃ S > 55 %)	0,92	–
Середньоалітовий (C ₃ S < 55 %)	0,94	–
Високобелітовий (C ₂ S > 40 %)	1,02	–
Середньобелітовий (C ₂ S > 25 %)	0,98	–
Алюмоферитний (C ₄ AF > 18 %)	0,97	–
Бетон пропарюваний і природного тверднення		
Високий рівень виробництва (дозування матеріалів по масі, відкалібровані форми оснастки і контрольних зразків – кубів, ретельний контроль за якістю бетону, належний догляд за твердненням бетону) C _v = (9–12) %	–	0,98
Середній рівень виробництва (C _v = 13 %)	–	0,95
Низький рівень виробництва (C _v = (14–17) %)	–	0,92

Примітка 1. Введення поправочних коефіцієнтів виконують за наявності детальних даних по складу цементів і виробничим умовам.

Примітка 2. C_v – коефіцієнт варіації міцності бетонних зразків.

Дані таблиці 10.1 отримані на гранітному щебені з НК = 80 мм, піску з $M_{кр}^n = 3$, цементі з НГЦТ = 27 %, на бетонних сумішах з ОК = 2 см і жорсткістю 5 с (згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) на приладі Вебе) при відношенні міцності кам'яної породи до міцності бетону ($R_{к.п.}/f_{cm6}$) > 1,5 і при Ц/В ≤ 2,25.

Значення коефіцієнта А уточнюють за графіком (рисунок 10.1) в залежності від потрібної рухливості або жорсткості бетонної суміші, крупності піску, гравію і щебеню, НГЦТ, Ц/В і $R_{к.п.}/f_{cm}$. Поправку $\sum \Delta A$ підраховують як алгебраїчну суму часткових поправок (таблиця 10.3) і вводять у формулу (10.1) зі своїм знаком. Уточнене значення коефіцієнта ($A + \sum \Delta A$) дозволяє більш точно встановлювати В/Ц, склад бетону для пробного замісу і скоротити роботу по підбору складу бетону.



I, II, III – визначення жорсткості (див. рисунок 8.1)

Рисунок 10.1 – Графік для уточнення коефіцієнта А в залежності від рухомості (OK) і жорсткості бетонної суміші (Ж), модуля крупності піску ($M_{кр}^п$), нормальної густоти цементного тіста (НГЦТ), крупності щебеню (гравію) (НКЩ), цементно-водного відношення (Ц/В), відношення міцності щебеню до міцності бетону

Таблиця 10.3

Окремі показники для визначення поправок	Поправка
За рухомістю (жорсткістю) бетонної суміші (OK або Ж)	$\pm \Delta A_1$
За модулем крупності піску ($M_{кр}^п$)	$\pm \Delta A_2$
За нормальною густотою цементного тіста (НГЦТ)	$\pm \Delta A_3$
За найбільшою крупністю щебеню (НКЩ)	$\pm \Delta A_4$
За цементно-водним відношенням (Ц/В)	$-\Delta A_5$
За відношенням міцності кам'яної породи до міцності бетону ($R_{к.п.}/f_{cm}$)	$-\Delta A_6$
	$\sum \Delta A$

Уточнене В/Ц з урахуванням поправок визначають за формулою:

$$V/C = \frac{(A + \sum \Delta A) \cdot R_u}{\frac{f_{cm}}{K_1 \cdot K_2} + 0,5 \cdot (A + \sum \Delta A) \cdot R_u} \quad (10.2)$$

Отримане значення В/Ц порівнюють з допустимим для даного виду бетону. Якщо розрахункове значення В/Ц виявиться більше допустимого, то приймають останнє. Якщо значення В/Ц буде менше допустимого, то приймають розрахункове значення В/Ц;

б) витрату води (B_1) на 1 м^3 бетону визначають за графіком (рисунки 10.2 і 10.3). Графіки побудовані на основі закономірності постійної водопотреби в рівнорухливих бетонних сумішах при замішуванні бетонної суміші на піску з $M_{кр}^п = 3$ на гранітному щебені крупністю 10, 20, 30, 40, 60, 80 і 150 мм, на цементі з НГЦТ = 28 % при вмісті в щебені часток менше, а у піску більше ніж $5 \text{ мм} \leq 5 \%$. Жорсткість визначають трьома методами (див. рисунок 8.1). При використанні інших матеріалів витрату води також призначають відповідно до рисунків 10.2 і 10.3 з уточненням згідно з таблицею 10.4. Поправки до витрати води зводять у таблицю 10.5. $\sum \Delta B$ вважають як алгебраїчну суму.

Витрату води з урахуванням виконаного коригування визначають за формулою:

$$B = B_1 + \sum \Delta B. \tag{10.3}$$

Коригування водопотреби дає можливість більш точно визначати потрібну витрату води і дозволяє скоротити число дослідних замісів при підборі складу бетону;

в) витрату цементу, кг/м^3 , визначають згідно з формулами (8.3) або (10.4):

$$Ц = \frac{B_1 + \sum \Delta B}{B/Ц}. \tag{10.4}$$

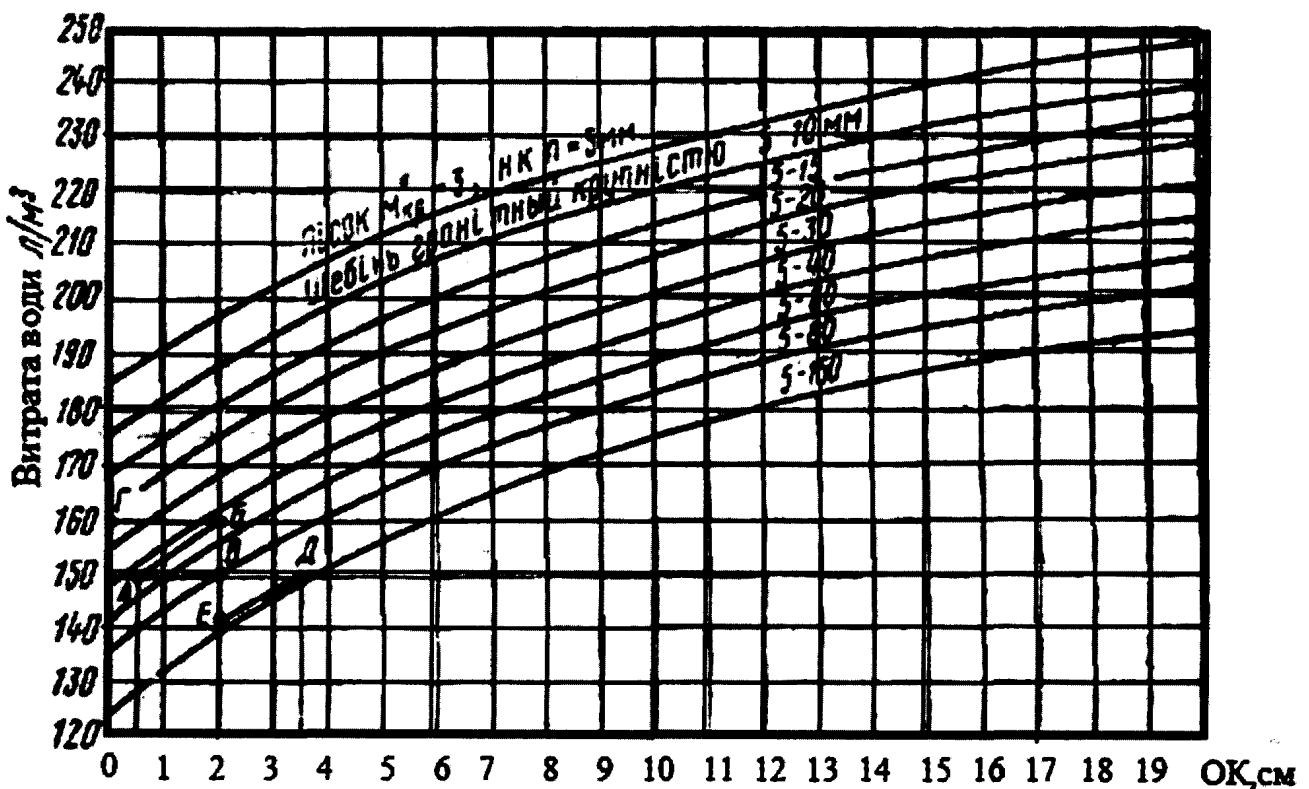
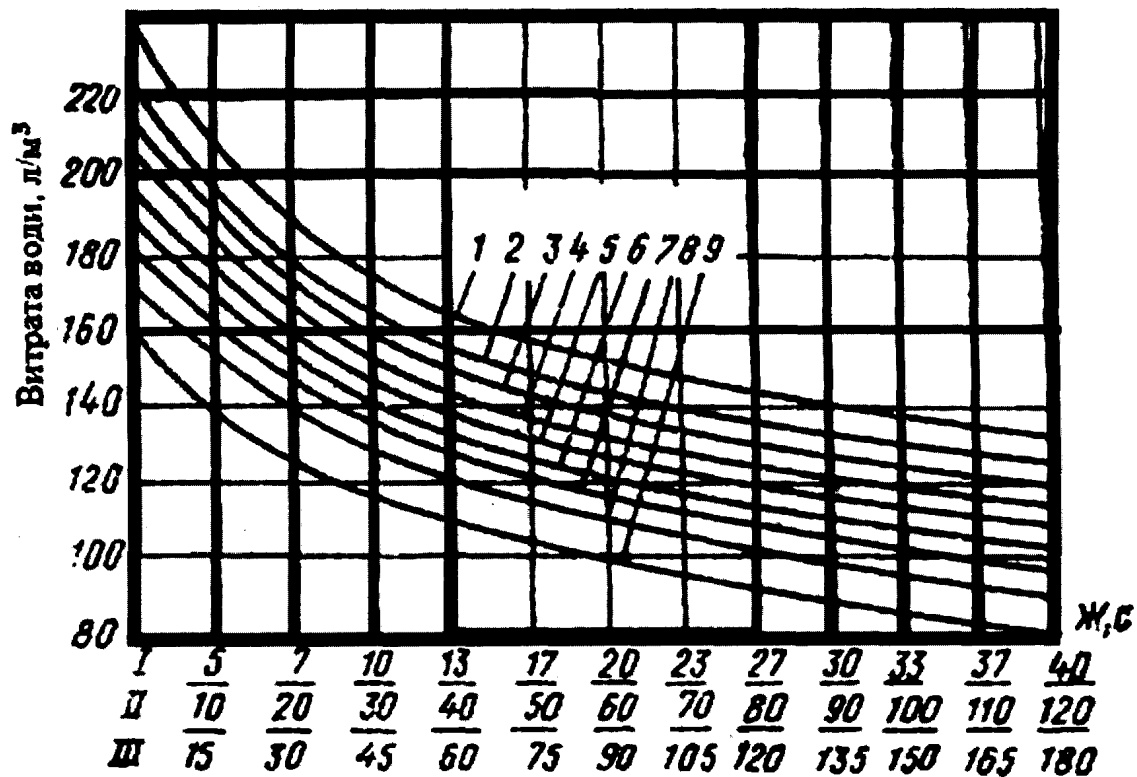


Рисунок 10.2 – Графік витрати води на 1 м^3 бетону в залежності від пластичності бетонних сумішей



I, II, III – визначення жорсткості (див. рисунок 8.1)

Криві: 1 – для піску, 2–9 – для щебеню НК 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 і 150 мм

Рисунок 10.3 – Графік витрати води на 1 м³ бетону в залежності від жорсткості бетонної суміші

Таблиця 10.4

Матеріал, витрата цементу, температура бетонної суміші	Витрата води, дм³/м³		Додаткові рекомендації
	збільшення	зменшення	
Щебінь із каменю метаморфічних і осадових порід	4–13	–	4 дм³/м³ при міцності каменю 80 МПа; 13 дм³/м³ – при міцності каменю 40 МПа. Для іншої міцності поправку визначають за інтерполяцією
Гірський гравій Морський і річковий гравій	– –	5–10 9–15	Менші значення – при середній окатаності зерен, більші – при добрій окатаності поверхні зерен
При зміні модуля крупності піску на кожні 0,5: в меншу сторону від 3 в більшу сторону від 3	3; 4; 5 –	– 3; 4; 5	3, 4 і 5 дм³ при вмісті пилу, мулу і глини відповідно до 1, 3 і 5 %
Щебінь із порід каменю з гладкою поверхнею злому (діабаз, базальт, кварцитовий піщаник тощо)	–	3	–
Пісок з гладкою, добре окатаною поверхнею	–	4	–

Кінець таблиці 10.4

При зміні нормальної густоти цементного тіста на кожний процент: в більшу сторону від 28 % в меншу сторону від 28 %	4 –	– 4	– –
При зміні витрати цементу на кожні 10 кг в більшу сторону від 350 кг/м ³	1	–	–
Промитий щебінь	–	6	–
Промитий пісок	–	7	–
При збільшенні вмісту в щебені мулу, пилу більше ніж 1 % і часток менше ніж 5 мм більше ніж 5 %, на кожний процент зверху норми	1–2	–	1 дм ³ при вмісті часток менше ніж 5 мм; 2 дм ³ при вмісті тільки мулу і пилу
При збільшенні вмісту у піску мулу, пилу (але не глини) на кожний процент більше ніж 3 %	2	–	–
За температури бетонної суміші, °С: 5 10 15 20 25 30 35	– – – – 3 7 11	5 4 2 – – – –	– – – – Еталон –

Таблиця 10.5

Коригування витрати води	Поправка
За породою крупного заповнювача	+ΔB ₁
За видом крупного заповнювача	–ΔB ₂
За модулем крупності піску	±ΔB ₃
За нормальною густиною цементного тіста	±ΔB ₄
За витратою цементу	+ΔB ₅
За вмістом в щебені пилу, мулу і кам'яної крихти	+ΔB ₆
За вмістом в піску мулу, пилу (але не глини)	+ΔB ₇
Всього	∑ΔB

Встановлену витрату цементу порівнюють з вимогами відповідних нормативних документів. Якщо значення витрати цементу становитиме менше мінімального, приймають останнє значення; більше мінімального і менше максимального, приймають розрахункову витрату цементу; більше максимального – необхідно використовувати цемент з більшою активністю.

г) абсолютний об'єм цементного тіста визначають за формулою:

$$V_{ц.т.} = B + \frac{Ц}{\gamma_{ц.т.}}; \quad (10.5)$$

д) абсолютний об'єм заповнювачів визначають за формулою:

$$V_a = 1000 - V_{ц.т.}; \quad (10.6)$$

е) відношення між фракціями щебеню (гравію) встановлюють на основі підбору їх сумішей, що мають найбільшу насипну густину і найменшу пористість. При двох фракціях щебеню (гравію), наприклад, з НК = 40 мм, дане визначення проводять наступним чином. Складають три суміші (за масою): 1-а суміш – 40 % дрібної і 60 % крупної фракції; 2-а суміш – 50 % дрібної і 50 % крупної фракції; 3-я суміш – 60 % дрібної і 40 % крупної фракції.

Складені суміші фракцій щебеню (гравію) ретельно перемішують і визначають насипну густину суміші у насипному (стандартному) стані. За основу приймають суміш щебеню з найбільшою насипною густиною. Якщо насипні густини сумішей виявляться подібними між собою і дрібна фракція дефіцитна, то приймають суміш щебеню (гравію) з меншим вмістом дрібної фракції.

При двох – чотирьох фракціях щебеню визначення оптимального відношення між ними дозволено приймати згідно з таблицею 10.6 або встановлювати дослідним шляхом;

ж) витрату щебеню, $\text{кг}/\text{м}^3$, визначають за формулою:

$$\text{Щ} = \frac{\rho_{\text{нас. щ.}} \cdot 1000}{1 + V_{\text{пус. щ.}} \cdot (\alpha - 1)}. \quad (10.7)$$

Таблиця 10.6

Число фракцій щебеню	Гранична крупність щебеню, мм	Розміри фракцій, мм	Оптимальний вміст фракції у суміші щебеню за масою, %	Орієнтовна середня насипна густина суміші фракцій, $\text{кг}/\text{л}$	Суміші з більшим вмістом фракції	
					дрібної	крупної
2	20	5–10	35	1,4	50	20
		10–20	65		50	80
	40	5–20	45	1,46	60	25
	20–40	55	40		75	
3	40	5–40	55	1,52	70	37
		40–80	45		30	63
		80	5–10		18	1,47
10–20	26		40	12		
20–40	56		37	76		
3	80	5–20	26	1,53	32	18
		20–40	28		43	18
		40–80	46		25	64

Значення α встановлюють: для бетонних сумішей, що ущільнені вібрацією (для звичайних конструкцій) за номограмою (рисунок 10.4), а для тонкостінних і густоармованих конструкцій (з пластичних і литих сумішей) – по номограмі (рисунок 10.5). Номограми побудовані для бетонних сумішей рухомістю 2 см, жорсткістю 5 с (згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) за приладом Вебе) при витраті цементу $350 \text{ кг}/\text{м}^3$ бетону. При використанні гравію значення α , встановлене за номограмами, зменшується на (0,04–0,05).

При підборі складу бетону з іншою осадкою конуса або жорсткістю і при інших витратах цементу значення α спочатку встановлюють за наведеними номограмами, а потім уточнюють в залежності від пластичності за графіком (рисунок 10.6) і від витрати цементу за графіком (рисунок 10.7). В цьому випадку витрату щебеню визначають за формулою:

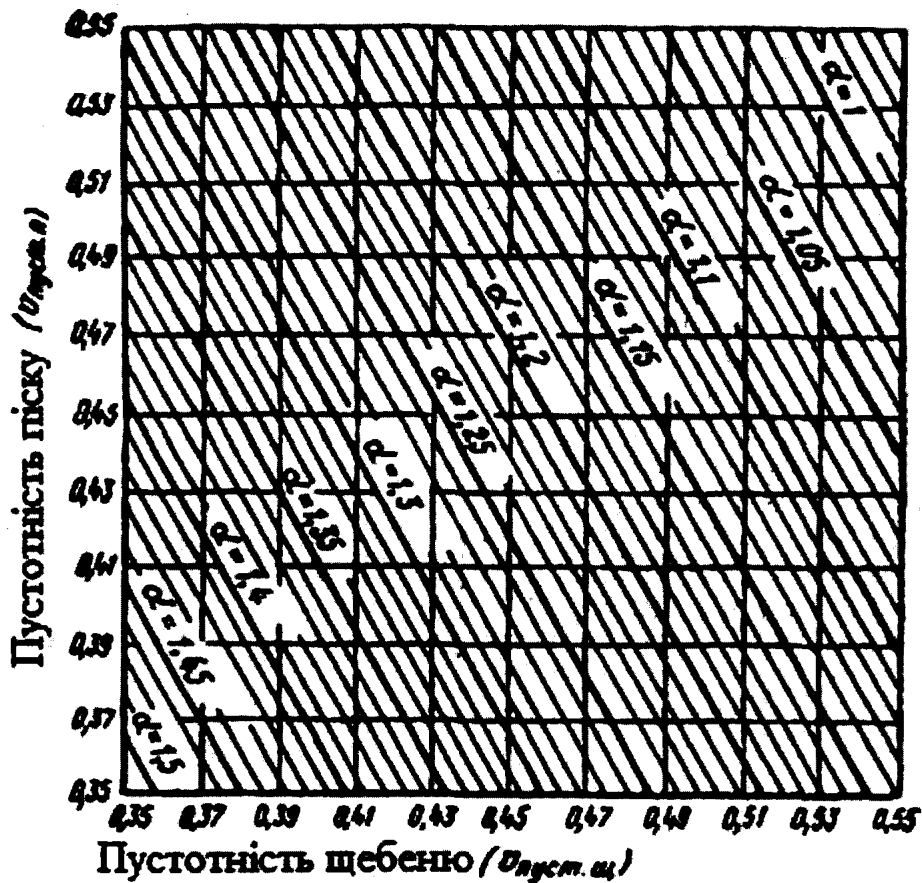


Рисунок 10.4 – Номограма для визначення коефіцієнта заповнення пустот і розсунення зерен щебеню (гравію) розчином (α) в залежності від пустотності піску і щебеню (гравію)

$$\text{Щ} = \frac{\rho_{\text{нас. щ.}} \cdot 1000}{1 + V_{\text{п.с. щ.}} \cdot [(\alpha \pm \Delta\alpha_{\text{о.к.}} + \Delta\alpha_{\text{ц}}) - 1]}, \quad (10.8)$$

де $\Delta\alpha_{\text{о.к.}}$ – поправка α за осадкою конуса;
 $\Delta\alpha_{\text{ц}}$ – уточнення α за витратою цементу;

з) витрату піску на 1 м^3 бетону визначають за формулами:

$$\text{П} = \left[1000 - \left(\frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} + \text{В} + \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} \right) \right] \cdot \rho_{\text{п}}; \quad (10.9)$$

$$\text{П} = (V_{\text{а}} - V_{\text{щ}}) \cdot \rho_{\text{п}}; \quad (10.10)$$

и) розрахунку середню густину бетонної суміші, кг/м^3 , визначають за формулою:

$$\rho_{\text{б.с.}}^{\text{T}} = \text{В} + \text{Ц} + \text{П} + \text{Щ}. \quad (10.11)$$

При точному визначенні щільності складових бетону фактична середня густина бетонної суміші повинна дорівнювати чи бути близькою до теоретичної (розрахункової) середньої густини. Допускається відхилення $\pm 1 \%$, при більшому відхиленні склад бетону уточнюють за фактичною середньою густиною бетонної суміші;

к) абсолютний об'єм матеріалів визначають за формулою:

$$V_{\text{м}} = \text{В} + \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{П}}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}}. \quad (10.12)$$

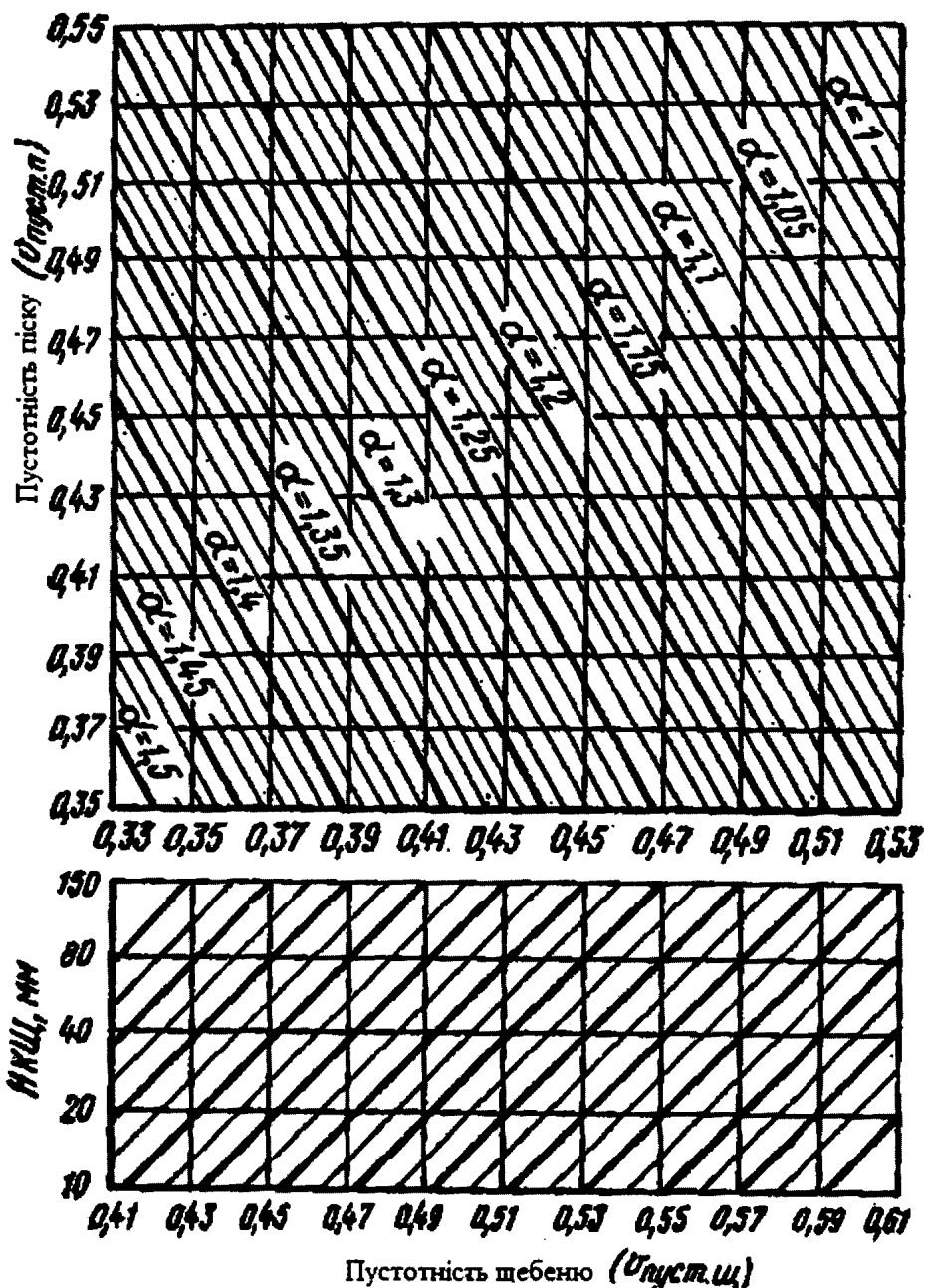


Рисунок 10.5 – Номограма для визначення коефіцієнта α в залежності від крупності щебеню (гравію), пустотності піску і щебеню (гравію)

В бетонних сумішах рухомістю більше ніж (1–2) см при точному визначенні щільності складових абсолютний об'єм матеріалів повинен дорівнювати 1000 дм³. Можливе відхилення в межах 1 % за рахунок втягнутого повітря, яке звичайно не враховують. В жорстких бетонних сумішах за рахунок затиснутого повітря абсолютний об'єм матеріалів в залежності від показника легкоукладальності знаходиться в межах від 990 дм³ до 950 дм³.

Приклад 1

Необхідно підібрати склад важкого бетону, до якого не висувається інших вимог, окрім міцності. Клас бетону С 16/20 при $f_{cm.cube} = 30$ МПа, осадка конуса – 6 см.

Характеристика матеріалів: портландцемент класу СЕМ І 42,5 N, активністю 48,5 МПа, $\rho_c = 3,1$, НГЦТ = 25 %, мінералогічний склад – середньоалюмінатний. Пісок гірський кварцовий: $\rho_p = 2,63$, $\rho_{нас.п} = 1,47$, $V_{пуч.п} = 0,44$, $M_{кр}^п = 2,1$; вміст органічних домішок – задовольняє нормам: глини, пилу та

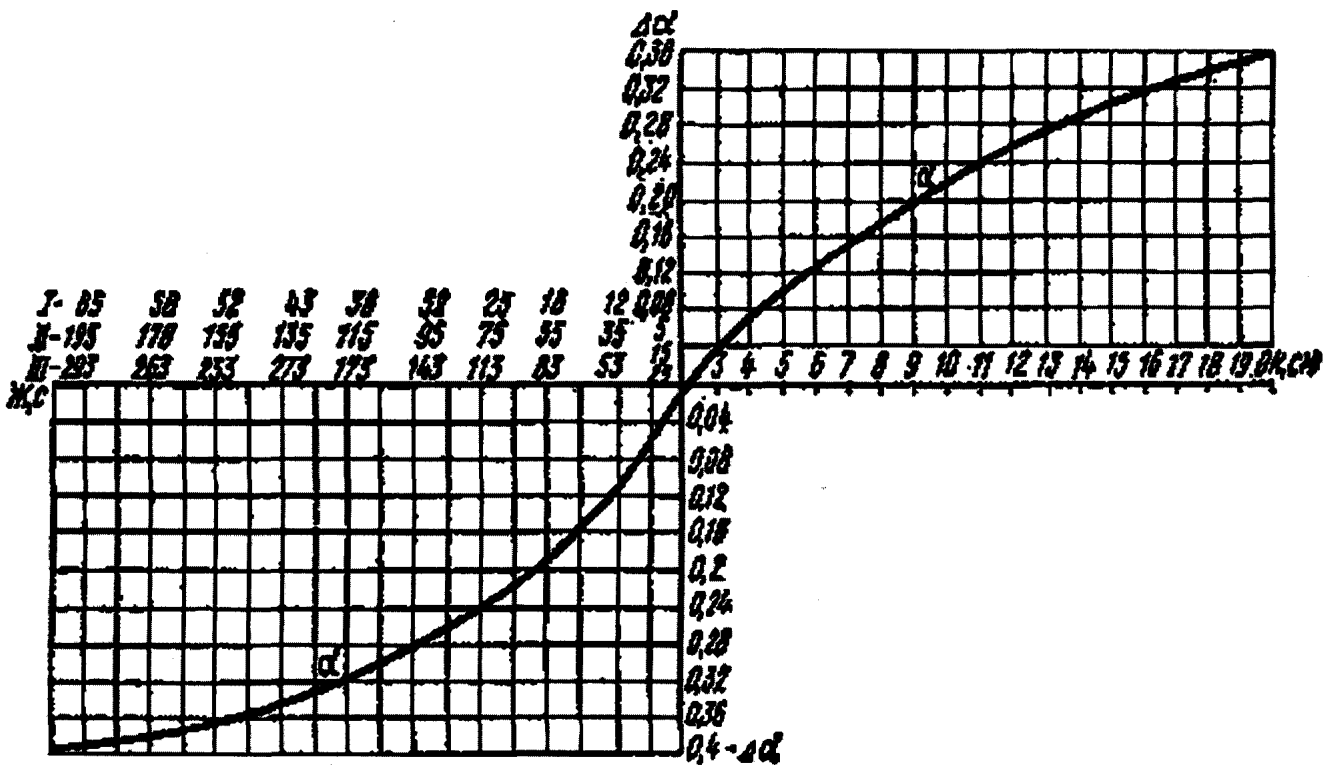


Рисунок 10.6 – Графік для уточнення коефіцієнта α в залежності від жорсткості і рухомості бетонної суміші (Δα – зміна значення α, що встановлене за номограмами на рисунках 10.4 і 10.5)

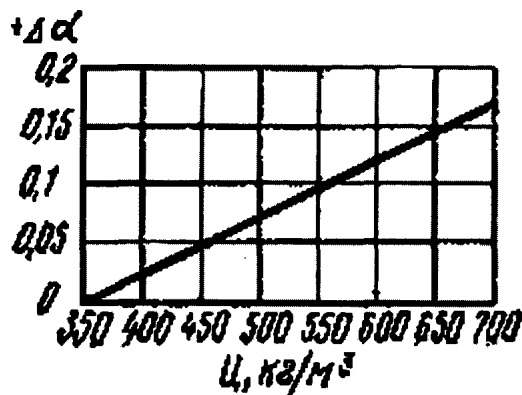


Рисунок 10.7 – Графік для уточнення коефіцієнта α при витраті цементу більше ніж 350 кг/м³ бетону (позначення Δα див. рисунку 10.6)

мулу – 3 %. Щебінь вапняковий; $R_{к.п} = 80$ МПа, $\rho_{щ} = 2,65$, $\rho_{нас.щ} = 1,32$, $V_{пус.щ} = 0,503$, КЩ = (5–20) мм (одна фракція). Вміст глини, пилу, мулу – 2 %, кам'яної крихти (часток менше ніж 5 мм) – 5 %.

Виробничі умови: середній рівень виробництва ($C_v = 13$ %), дозування компонентів за масою, ущільнення бетонної суміші вібруванням. Умови тверднення: пропарювання із забезпеченням 70 % міцності. Задана міцність має бути отримана у віці 28 діб.

Розрахунок складу бетону виконують в наступній послідовності.

Визначають:

а) попереднє водоцементне відношення згідно з формулою (10.1), таблицями 10.1 і 10.2:

$$B/C = \frac{0,55 \cdot 48,5}{30 + 0,275 \cdot 48,5} = 0,572 ;$$

$$\frac{0,95 \cdot 0,95}{0,95 \cdot 0,95}$$

$$Ц/В = \frac{1}{0,572} = 1,76 = 1,76 .$$

Значення А уточнюють в залежності від якості матеріалів, що застосовуються і Ц/В згідно з рисунком 10.3. Значення поправки $\sum \Delta A$ наведені в таблиці 10.7;

Таблиця 10.7

Вид поправки		Величина поправки
За ОК	ΔA_1	-0,015
За $M_{кр}^n$	ΔA_2	-0,015
За НГЦТ	ΔA_3	-0,03
За НКЩ	ΔA_4	-0,02
За Ц/В	ΔA_5	-
За $f_{кл} / f_{см}$	ΔA_6	-
$\sum \Delta A$		-0,08

б) розрахункове водоцементне відношення згідно з формулою (10.2), таблицями 10.1 і 10.2:

$$В/Ц = \frac{(0,55 - 0,08) \cdot 48,5}{\frac{30}{K_1 \cdot K_2} + 0,5 \cdot (0,55 - 0,08) \cdot 48,5} = 0,51;$$

$$Ц/В = \frac{1}{0,51} = 1,96 ;$$

в) попередню витрату води V_1 згідно з рисунком 5:

$$V_1 = 195 \text{ дм}^3/\text{м}^3.$$

Витрату води уточнюють в залежності від якості матеріалів, що застосовуються (див. таблицю 10.4) і зводять в таблицю 10.8;

г) попередню витрату цементу згідно з формулою (10.4):

$$Ц = \frac{195 + 1}{0,51} = 384 \text{ кг/м}^3;$$

Таблиця 10.8

Вид поправки		Величина поправки
За породою крупного заповнювача (вапняку)	ΔB_1	+4
За видом крупного заповнювача (щебеню)	ΔA_2	-
За $M_{кр}^n = 2,1$	ΔA_3	+7
За НГТЦ = 25 %	ΔA_4	-2
За вмістом пилу і мулу у щебені (кам'яної крихти)	ΔA_5	+2
За вмістом пилу і мулу у піску (але не глини)	ΔA_6	-
$\sum \Delta B$		+1

д) надлишок води на підвищену витрату цементу відповідно до таблиці 10.4:

$$\frac{384 - 350}{10} \cdot 1 = 3,4 ;$$

Додають 4 дм³ води, так як при збільшенні води при постійному В/Ц = 0,51 витрата цементу зростає;

е) кінцеву витрату води згідно з формулою (10.3):

$$В = 196 + 4 = 200 \text{ дм}^3;$$

ж) кінцеву витрату цементу згідно з формулою (8.3):

$$Ц = \frac{200}{0,51} = 392 \text{ кг/м}^3;$$

з) абсолютний об'єм цементного тіста згідно з формулою (10.5):

$$V_{\text{ц.т.}} = 200 + \frac{392}{3,1} = 326 \text{ дм}^3/\text{м}^3;$$

и) абсолютний об'єм заповнювачів згідно з формулою (10.6):

$$V_3 = 1000 - 326 = 674 \text{ дм}^3/\text{м}^3.$$

При НКЩ = 5 мм – 20 мм приймають одну фракцію;

к) витрату щебеню згідно з формулою (10.8):

$$\text{Щ} = \frac{1,32 \cdot 1000}{1 + 0,503 \cdot [(1,13 + 0,12 + 0,02) - 1]} = \frac{1320}{1 + 0,503 \cdot 0,27} = 1165 \text{ кг/м}^3,$$

де $\alpha = 1,13$ згідно з рисунком 10.4;

$\Delta\alpha_{\text{о.к.}} = 0,12$ (ОК = 6 см згідно з рисунком 10.6);

$\Delta\alpha_{\text{ц}} = 0,02$ (Ц = 392 кг/м³ згідно з рисунком 10.7);

л) витрату піску згідно з формулою (10.10):

$$\text{П} = \left(674 - \frac{1165}{2,65} \right) \cdot 2,63 = 618 \text{ кг/м}^3;$$

м) об'ємну масу бетонної суміші згідно з формулою (10.11):

$$\rho_{\text{б.с}} = 200 + 392 + 618 + 1165 = 2375 \text{ кг/м}^3;$$

н) абсолютний об'єм матеріалів згідно з формулою (10.12):

$$V_{\text{м}} = 200 + 126 + 235 + 439 = 1000 \text{ дм}^3/\text{м}^3.$$

10.2 Можливе призначення складу бетону по методиці [6].

11 ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ САМОУЩІЛЬНЮЮЧОГО БЕТОНУ

11.1 До самоущільнюючих бетонів відносять бетони з бетонної суміші, яка, крім щільного заповнення форми, здатна до самостійного видалення втягнутого повітря із збереженням однорідної структури. Такі бетони повинні відповідати вимогам цього стандарту та ДСТУ Б В.2.7-96 (ГОСТ 7473).

Напрями застосування самоущільнюючих бетонів наведені в таблиці 11.1.

Таблиця 11.1

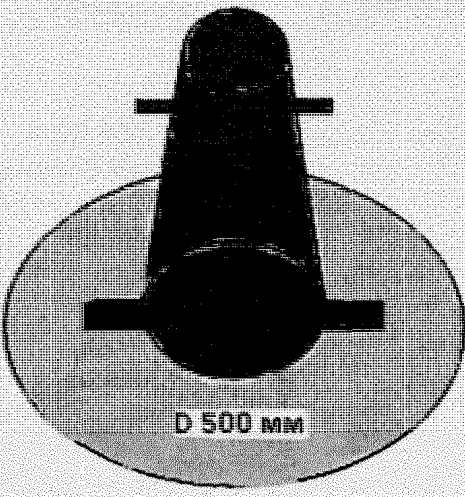
Технологічні ефекти	Соціальні ефекти	Напрями застосування
<ul style="list-style-type: none"> – повне заповнення форми, опалубки і ущільнення бетонної суміші в густо-армованому каркасі; – висока якість поверхні конструкції (відсутність порожнин, менша кількість робочих швів); – щільне заповнення порожнин в старому бетоні за наявності якісного зчеплення; – забезпечення якісного ущільнення бетонної суміші в місцях, де вібрування неможливе або важко виконати; – текуча консистенція бетонної суміші для перекачування бетононасосами 	<ul style="list-style-type: none"> – збільшення швидкості будівництва; – зменшення кількості робочих, що виконують бетонування; – простота бетонування конструкцій складної конфігурації або бетонування в важкодоступних місцях; – простота бетонування конструкцій складної конфігурації або бетонування в важкодоступних місцях; – зменшення трудомісткості укладання бетонної суміші; – зменшення або повна відмова від віброущільнення при укладанні та ущільненні бетонної суміші на будівельному майданчику, що зменшує шум та знижує вплив на сусідні споруди 	<ul style="list-style-type: none"> – елементи мостів і тунелів (арки, опори, анкерування); – наливні підлоги; – монолітно-каркасні конструкції будівель; – басейни очисних споруд; – густоармовані конструкції з важкого і легкого бетону; – заповнення сталевих трубчатих колон; – фундаменти, що бетонуються під водою; – стінки басейну; – тюринги тунелів; – торкретування; – дорожні плити (фібробетон); – архітектурний бетон

11.2 До бетонних сумішей, що самоущільнюються, пред'являють наступні вимоги:

- здатність до розтічності бетонної суміші і щільного заповнення форми;
- висока в'язкість;
- здатність до проходження скрізь елементи арматурного каркасу без блокування крупного заповнювача;
- відсутність здатності до розшарування та водовідділення.

11.3 Здатність до розтічності бетонної суміші і щільного заповнення форми визначається за допомогою стандартного конуса згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181). Вимоги до бетонної суміші наведені на рисунку 11.1. При розтічності бетонної суміші 500 мм, час її розтікання повинен бути менше ніж 9 с, а при розтічності бетонної суміші більше ніж 500 мм – від 9 с до 25 с.

Познака класу за розливом	Діаметр, мм
SF1	550–650
SF2	660–750
SF3	760–850
Клас в'язкості	Час t_{500} , с
VS1	< 2
VS2	≥ 2



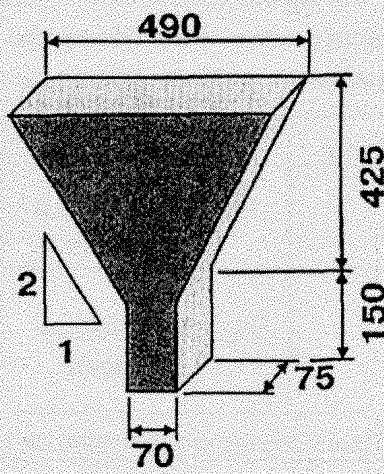
Вимірюється діаметр розливу і час розтікання до діаметра 500 мм

Рисунок 11.1 – Класи консистенції бетонної суміші, що визначаються за допомогою конуса

11.4 В'язкість бетонної суміші також оцінюють за допомогою V-подібного віскозиметра (рисунок 11.2) відповідно до рекомендацій цього стандарту та [2].

11.5 Здатність до самовирівнювання бетонної суміші при проходженні крізь елементи арматурного каркасу визначають за допомогою L-подібного віскозиметра (рисунок 11.3) відповідно до рекомендацій цього стандарту та [2].

Познака класу в'язкості	Час, с
VF1	< 9
VF2	9...25



Вимірюється час розтікання бетонної суміші (12 дм³) із воронки

Рисунок 11.2 – Воронкоподібний віскозиметр для визначення часу витікання бетонної суміші

Позначка класу	Прохідність	
PL1 ¹⁾	$\geq 0,8$ для двох арматурних стрижнів	
PL2 ²⁾	$\geq 0,8$ для трьох арматурних стрижнів	

Вимірюється висота бетонної суміші H_1 і H_2
 $PL = H_2/H_1$

1) Для кроку арматури в конструкції від 80 мм до 100 мм
 2) Для кроку арматури від 60 мм до 80 мм
Примітка. Додатково може змінюватися час досягнення бетоної суміші висоти 200 мм і 400 мм – T_{20} та T_{40} , що вказує на заповнюючу здатність.

Рисунок 11.3 – Прилад для визначення рухомості бетонної суміші за допомогою L-подібного віскозиметра

11.6 Здатність бетонної суміші до проходження крізь елементи арматурного каркасу без блокування крупного заповнювача визначають за допомогою віскозиметра, який імітує її проходження крізь арматурний каркас (рисунок 11.4). Для цього у віскозиметр вставляють перевернутий стандартний конус, заповнюють його бетонною сумішшю, ущільнюють і підіймають. Після закінчення її розтікання заміряють розміри розпливу відповідно до рисунку 11.4.

Позначка класу	Прохідність, мм		Вимірюється висота бетонної суміші H_0 , в мм, в середині кільця і в чотирьох точках назовні H_1 , в мм
PJ1	$H_0 - H_1 \leq 10$ для 12 стрижнів		
PJ2	$H_0 - H_1 \leq 10$ для 16 стрижнів		

Примітка. Також вимірюють зменшення розпливу бетонної суміші, який повинен бути ≤ 100 мм.

Рисунок 11.4 – Прилад для випробування бетонної суміші за допомогою віскозиметра, який імітує її проходження крізь арматурний каркас

11.7 Відсутність розшарування та водовідділення бетонної суміші визначають за допомогою приладу, який являє собою циліндр діаметром 300 мм. Дно циліндра виготовлено з сітки з чарункою 5 мм. В циліндр завантажують 10 дм³ бетонної суміші і витримують 15 хв. Після цього зважують бетонну суміш, що пройшла крізь сито (W_p) і залишилась в циліндрі (W_c). За допомогою співвідношення W_p / W_c у відсотках визначають ступінь розшарування і відповідний клас бетонної суміші. Для бетонної суміші з втратою маси до 20 % призначають клас SR1, а для бетонної суміші з втратою маси до 15 % призначають клас SR2. Якщо висота конструкції більше ніж 5 м і крок армування більше ніж 80 мм, то втрата маси бетоної суміші не повинна перевищувати 10 %.

11.8 Залежно від типу конструкції, що бетонується, згідно з даними таблиці 11.2, призначають рекомендований клас бетонної суміші.

11.9 Для отримання бетонів, що самоущільнюються, необхідно робити сумісний підбір гранулометричного складу заповнювачів (піску і щебеню (гравію)). Доцільно використовувати безперервну гранулометрію, що в ряді випадків потребує збагачення піску.

Таблиця 11.2

Позначка класу	Напрямок застосування
Високорухлива SF1	Неармовані або малоармовані бетонні конструкції: плити перекриття, трубопроводи, облицювання тунелів, фундаментів
SF2	Звичайні споруди – колони, стіни
SF3	Вертикальні елементи, густоармовані конструкції складної форми, торкретбетон
В'язка VS1/VF1	Конструкції, до яких пред'являються високі вимоги щодо якості поверхні і які не потребують додаткової обробки
VS2/VF2	Звичайні конструкції. Можливе розшарування, транспортування на незначну відстань
Легкоформуєма PA 1	Вертикальні споруди, домобудівництво, конструкції, що армовані з кроком від 80 мм до 100 мм
PA 2	Інженерні споруди, що армовані з кроком від 60 мм до 80 мм
Стійка SR1	Висотні елементи, за виключенням тонких балок, вертикальні споруди, армовані з кроком до 80 мм. Максимальна відстань транспортування менше ніж 5 м
SR2	Стіни і тонкостінні конструкції, армовані з кроком більше ніж 80 мм. Відстань транспортування більше ніж 5 м

11.10 Збільшення водопотреби бетонної суміші за рахунок використання дрібнодисперсних матеріалів необхідно компенсувати використанням ефективних суперпластифікаторів.

11.11 Стабільність ефекту самоущільнення в значній мірі залежить від точності дозування компонентів бетонної суміші. Для отримання стабільного ефекту самоущільнення бетонних сумішей необхідно застосовувати дозувальне обладнання з малою похибкою і комп'ютеризовані системи управління рецептурою бетону.

11.12 Склад бетонної суміші, що самоущільнюється, визначають відповідно до вимог розділів 5–8 цього стандарту, з урахуванням вимог 11.13.1–11.13.6 цього стандарту та даних, наведених в таблиці 11.3.

Таблиця 11.3

№	Характеристики бетонної суміші	Показники
1	Водоцементне відношення (В/Ц)	< 0,50
2	Водотверде відношення В/(Ц + ДН)	< 0,35
3	Водовміст бетонної суміші, $\text{дм}^3/\text{м}^3$	160–200
4	Вміст часток цементу та мінеральних добавок розміром менше ніж 0,125 мм, $\text{кг}/\text{м}^3$	500–600
5	Об'єм мінеральної матриці (цемент + мінеральні добавки + вода), %	≥ 40
6	Вміст цементно-піщаного розчину (пісок фракції від 0,125 мм до 2 мм), $\text{дм}^3/\text{м}^3$	≥ 650
7	Частка піску в суміші заповнювача	0,45–0,55
8	Вміст щебеню (гравію) фракції (5–10) мм в фракції (10–20) мм, %	50–80
9	Максимальний розмір зерна заповнювача, мм	20

11.13 Визначення складу бетонної суміші, що самоущільнюється, виконують наступним методом.

11.13.1 Використовуючи конус Хегерманна, розміри якого відповідають вимогам конуса згідно з ДСТУ Б В.2.7-187, підбирають кількість дисперсного наповнювача (ДН), тип суперпластифікатора, враховуючи його сумісність з цементом, дисперсним наповнювачем та водопотребою останнього. Дослідження проводять без струшування бетонової суміші.

11.13.2 Згідно з 8.1 цього стандарту визначають необхідне $V/C \leq 0,5$ бетонної суміші відповідно до потрібної міцності бетону на стиск.

11.13.3 Визначають склад розчинової суміші за формулою:

$$V_p = П/\rho_p + B + Ц/\rho_c + ДН/\rho_{мд}, \quad (11.1)$$

де V_p – об'єм розчинової суміші m^3 ,

$\rho_p, \rho_c, \rho_{мд}$ – істинна густина відповідно до піску, цементу і мінерального дисперсного наповнювача, $кг/м^3$,

$$П/\rho_p = 0,4 V_p. \quad (11.2)$$

Отримані співвідношення компонентів повинні відповідати вимогам таблиці 11.3.

11.13.4 В отриману бетонну суміш вводять суперпластифікатор. Його кількість повинна забезпечити діаметр розпливу конуса Хегерманна в межах від 200 мм до 280 мм і одночасно суміш повинна мати час витікання з V-подібної воронки згідно з 11.4 цього стандарту від 5 с до 10 с.

11.13.5 В розчинову суміш згідно з 11.9 і таблиці 11.3, враховуючи 2 % втягнутого повітря, вводять крупний заповнювач приблизно в кількості 50 % від об'єму розчинової суміші.

11.13.6 Отриману бетонну суміш випробовують згідно з 11.2–11.7 цього стандарту. Потім випробовують бетон на міцність і визначають відповідність отриманих результатів вимогам завдання на показники якості бетону. За необхідності склад бетону коригують.

12 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА І КОРИГУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО СКЛАДУ БЕТОНУ, ВИЗНАЧЕННЯ ВИРОБНИЧОГО СКЛАДУ БЕТОНУ (З УРАХУВАННЯМ ВОЛОГОСТІ ЗАПОВНЮВАЧІВ) І РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛІВ НА ОДИН ЗАМІС БЕТОНОЗМІШУВАЧА

12.1 Загальні принципи коригування розрахункового складу бетону

12.1.1 Склад бетону, розрахований за будь-яким із трьох запропонованих методів, наведених у розділах 8–10, перевіряють і, за необхідності, коригують за рухомістю, кількістю піску і необхідною міцністю шляхом виготовлення дослідних замісів і наступного випробування зразків бетону.

Коригування рухливості бетонової суміші можна проводити двома методами.

12.1.2 Перший метод. Виготовляють перший заміс за розрахунковим складом об'ємом 10 дм^3 або більше в залежності від крупності заповнювача і визначають рухомість суміші за осадкою конуса або її жорсткість згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) за приладом типу Вебе, а також середню густину бетонової суміші після її ущільнення у формі для контрольного зразка. Якщо визначена рухомість суміші менше за необхідну, то у дослідний заміс додають (5–10) % цементу і води зі збереженням прийнятого відношення V/C . Якщо визначена рухомість більше необхідної, то в заміс додають пісок і щебінь від 5 % до 10 % від розрахункового в прийнятому співвідношенні. Шляхом декількох спроб отримують необхідну рухомість суміші, після чого розрахунковий склад бетону перераховують і роблять новий заміс для виготовлення 3, 6 або 9 контрольних зразків.

12.1.3 Задачу можливо вирішити і за графіком (рисунок 10.2). Наприклад, дослідний заміс на щебені фракцією (5–20) мм і з витратою води $150 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ отримали з осадкою конуса 0,5 см замість потрібних 2 см (точка В на рисунку 10.2). Для отримання необхідної рухомості уточнюють витрату води на 1 м^3 бетону. На графік наносять точку, що відповідає витраті води 150 дм^3 і осадці конуса

0,5 см (точка А). З точки А проводять криву, що подібна кривим, нанесеним на графіку, до перетину з ординатою, що відповідає осадці конуса 2 см (точка Б). З точки Б проводять горизонтальну лінію і визначають більш точну витрату води – 160 дм³ (точка Г). Якщо необхідно зменшити рухомість суміші, наприклад, до 3,5 см (точка Д), то на графіку проводять лінію на зменшення води замішування (точка Е) до 140 дм³/м³. Потім склад перераховують і виготовляють новий заміс для перевірки рухомості суміші і виготовлення контрольних зразків.

Коригування вмісту піску і щебеню за необхідності проводять після уточнення рухомості суміші.

12.1.4 На основі відкоригованого складу бетону готують три заміси: 1-ий – з бетонної суміші, що суворо відповідає розрахунковому складу; 2-ий і 3-ій – з суміші із вмістом піску менше або більше розрахункового приблизно на 50 кг і з одночасним збільшенням або зменшенням вмісту щебеню або гравію на таку ж кількість.

12.1.5 Другий метод: розраховуючи новий склад бетону, величину α в контрольних замісах приймають на 0,1 більше або менше. Потім виготовляють нові заміси, виміряють рухомість або жорсткість отриманих сумішей і приймають той склад, легкоукладальність якого підходить краще (якщо вона не сильно відрізняється від заданої). Якщо показники легкоукладальності виявляються близькими між собою, обирають склад з меншим вмістом піску, як правило такий, що забезпечує більш високу міцність бетону. Якщо легкоукладальність оптимального складу після коригування буде значно відрізнятися від заданої, склад знову перераховують, збільшують або зменшують вміст цементного тіста, а потім знову перевіряють.

12.2 Коригування водоцементного відношення

12.2.1 Якщо склад відкоригований дослідними замішуваннями і досягнуті необхідні рухомість і оптимальна кількість піску в бетонній суміші, виконують перевірку міцності бетону підібраного складу.

12.2.2 Готують зразки-куби з відкоригованого складу і одночасно з двох паралельних, в яких В/Ц приймають більше і менше на 0,05. Величину В/Ц змінюють, зменшуючи або збільшуючи витрату цементу, і кожний раз компенсуючи це зворотною зміною витрати піску, зберігаючи об'єми розчину і щебеню (гравію) незмінними. Взаємну компенсацію об'ємів піску і цементу потрібно виконувати за їх абсолютними об'ємами, а не за масами. На кожний термін випробування готують не менше ніж три зразки. Укладання і ущільнення бетоної суміші повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-214.

12.2.3 Зразки протягом однієї доби зберігають у формах в приміщенні з температурою від 16 °С до 20 °С, а потім звільняють від форм і до моменту випробування зберігають у вологому середовищі в спеціальній камері або в періодично зволоженому піску, стружці тощо.

12.2.4 Перед випробуванням зразки ретельно оглядають, вимірюють грані (з точністю до 1 мм), зважують. Випробувавши бетонні зразки у строки, що відповідають проекту, коригують величину В/Ц згідно з результатами контрольних випробувань і в якості кінцевого приймають склад, міцність якого відповідає заданій, з відхиленням не більше ніж + (5–8) %.

12.2.5 Якщо необхідно випробувати зразки раніше ніж через 28 діб для отримання міцності контрольних складів, зразки випробовують через 3 доби і 7 діб витримання або через 4 год після пропарювання за встановленим режимом. В цьому випадку склад бетону вибирають на основі даних, які є у наявності по приросту міцності бетону на даному цементі і заповнювачах за часом.

12.2.6 Приклади коригування розрахункового складу бетону

12.2.6.1 Коригування складу бетону наведено на розрахунковому складі, який розглянуто в прикладі розділу 10 даного стандарту.

12.3 Уточнення рухомості бетоної суміші

Замішують бетонну суміш в об'ємі 10 дм³ при В/Ц = 0,51. Для замісу відважують: Ц = 3,92 кг; В = 2 кг; П = 6,18 кг; Щ = 11,65 кг.

Дослідне замішування показало, що осадка конуса становить 5 см замість 6 см. Згідно з рисунком 10.2 уточнюють витрату води. З точки, що відповідає ОК = 5 см, проводять вертикальну, а з точки, що відповідає В = 200 дм³, – горизонтальну лінії до їх перетину. З точки перетину проводять

криву, що подібна кривим, згідно з рисунком 10.2, до перетину з вертикальною лінією, що відповідає $OK = 6$ см, і за точкою перетину визначають витрату води. Таким чином, витрата води становить $V = 204$ $\text{дм}^3/\text{м}^3$.

Уточнюють кількість матеріалів на 1 м^3 бетону, номінальний склад бетону і теоретичну середню густину бетоної суміші:

а) витрату цементу згідно з формулою (8.3):

$$Ц = \frac{204}{0,51} = 400 \text{ кг/м}^3 ;$$

б) абсолютний об'єм цементного тіста згідно з формулою (10.5):

$$V_{ц.т} = 204 + \frac{400}{3,1} = 333 \text{ дм}^3/\text{м}^3 ;$$

в) абсолютний об'єм заповнювачів згідно з формулою (10.6):

$$V_з = 1000 - 333 = 667 \text{ дм}^3/\text{м}^3 ;$$

г) витрату щебеню (гравію) згідно з формулою (10.7):

$$Щ = 1165 \text{ кг/м}^3, \text{ чи } 439 \text{ дм}^3 \text{ (залишився без змін);}$$

д) витрата піску за формулою (10.10):

$$П = (667 - 439) \cdot 2,63 = 600 \text{ кг/м}^3 ;$$

е) номінальний склад бетону:

$$Ц : П : Щ : В = 400 : 600 : 1165 : 204 = 1 : 1,5 : 2,9 : 0,51 ;$$

ж) теоретичну середню густину бетону, яка становить 2369 кг/м^3 .

12.4 Уточнення витрати піску

Витрата піску, що визначена за наведеною методикою, є оптимальною.

Однак за необхідності можна виконати цю перевірку. Замішують три склади: основний – 1-ий і два додаткових – 2-ий і 3-ий з витратою піску, більшою і меншою на 50 кг/м^3 (так як різниця в щільності піску і щебеню (гравію) незначна) із зміною на 50 кг кількості щебеню (гравію) відповідно. Пробні заміси показали, що осадка конуса (або жорсткість) основного складу відповідає потрібній або перевищує осадку, або менше жорсткості двох додаткових складів. Тому склад № 1 залишається для наступної перевірки на міцність бетону.

12.5 Уточнення водоцементного відношення

Замішують три експериментальних склади: основний – 1-ий при $V/Ц = 0,51$ і два додаткових – 4-ий і 5-ий при $V/Ц = 0,46$ і $V/Ц = 0,56$. Після випробування кубів у віці 28 діб (або у інші терміни) визначають фактичну міцність бетону (таблиця 12.1).

Таблиця 12.1

Матеріали і характеристики бетону	Уточнення витрати піску			Уточнення В/Ц		
	Склад					
	2	1	3	4	1	5
Цемент, кг	4	4	4	4,44	4	3,64
Пісок, кг	5,5	6	6,5	5,63	6	6,3
Щебінь (гравій), кг	12,15	11,65	11,15	11,65	11,65	11,65
Вода, дм ³	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
В/Ц	0,51	0,51	0,51	0,46	0,51	0,56
Осадка конуса, см	5	6	5	6	6	6
Жорсткість ¹⁾ , с	12	9	11	9	9	9
Міцність бетону на стиск, МПа	–	–	–	38	32,8	29,6

¹⁾ За технічним віскозиметром

Примітка. За результатами випробування бетону для виробництва приймають склад № 1.

12.6 Виробничий склад бетону і розрахунок кількості матеріалів на один заміс бетонозмішувача

Лабораторний підбір складу бетону виконують звичайно на сухих матеріалах. Склад бетону, що підібраний таким чином, прийнято називати номінальним. У виробничих умовах застосовувані матеріали звичайно бувають вологими, тому номінальний склад бетону необхідно перерахувати, враховуючи вологу, що міститься у заповнювачах і коригуючи кількість води і заповнювачів, що вводяться у заміс.

Порядок такого коригування наведений на конкретному прикладі.

а) припустимо, що в лабораторії підібраний склад бетону, наведений нижче.

Цемент	336 кг/м ³
Щебінь	1332 кг/м ³
Пісок	636 кг/м ³
Вода	150 дм ³ /м ³
Сумарна маса матеріалів	2454 кг/м ³

Номінальний склад 1:1,89:3,97 при В/Ц = 0,47;

б) припустимо, що у виробничих умовах щебінь має вологість 1 % за масою і пісок – 4 %. Тоді на 1 м³ бетону необхідно взяти вологого щебеню $1332 \cdot 1,01 = 1345$ кг і вологого піску $636 \cdot 1,04 = 661$ кг.

В цій кількості заповнювачів буде міститися води:

$$1332 \cdot 0,01 + 636 \cdot 0,04 = 38 \text{ дм}^3.$$

На цю кількість необхідно зменшити витрату води, що вказана у номінальному складі.

Відкоригований виробничий склад бетону на вологих заповнювачах буде наступним:

Цемент	336 кг/м ³
Щебінь	1345 кг/м ³
Пісок	661 кг/м ³
Вода	112 дм ³ /м ³
Сумарна маса матеріалів	2454 кг/м ³

Виробничий склад 1 : 1,97 : 4 при В/Ц = 0,47;

в) так, як об'єм бетонозмішувача частіше за все такий, що вихід готової бетонної суміші не дорівнює 1 м³, то для складання дозування матеріалів на один заміс необхідно склад бетону, розрахований на 1 м³ бетону, і перерахувати у відповідності з місткістю бетонозмішувача. У нових моделях бетонозмішувачів місткість їх барабана вказується у дм³ готового замісу бетонної суміші (V_{зам}), наприклад, 330, 800, 1600 дм³. У старих моделях місткість бетонозмішувачів вказувалася за сумарним об'ємом заправки сухих компонентів бетону – заповнювачів і цементу (V_м), наприклад, 250, 500, 1200 і 2400 дм³.

При використанні нових моделей бетонозмішувачів для складання дозування на заміс необхідно кількість кожного компонента з виробничого складу перерахувати за формулами:

$$\text{Ц}' = \text{Ц} \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}; \text{Щ}' = \text{Щ} \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000} \text{ тощо.}$$

При використанні старих моделей бетонозмішувачів необхідно визначити за виробничим складом сумарний насипний об'єм усіх сухих компонентів бетону ($\sum V_{\text{сух}}$) у дм^3 і визначити відношення:

$$\eta = \frac{V_{\text{м}}}{\sum V_{\text{сух}}} = \frac{V_{\text{м}}}{V_{\text{ц}} + V_{\text{щ}} + V_{\text{п}}}$$

Потім масу кожного компонента потрібно помножити на отриманий коефіцієнт η і визначити тим самим виробниче дозування.

Приклад

При об'ємі барабана бетонозмішувача нової моделі 330 дм^3 (за виходом) потрібно масу кожного компонента виробничого складу бетону помножити на 0,33. Отримаємо дозування на заміс:

$$\text{Ц} = 111 \text{ кг}; \text{Щ} = 443 \text{ кг}; \text{П} = 218 \text{ кг}; \text{В} = 37 \text{ дм}^3.$$

Всього 810 кг.

При об'ємі барабану бетонозмішувача старої моделі 500 дм^3 (за загрузкою) визначаємо сумарний насипний об'єм сухих матеріалів в нашому номінальному складі:

$$\sum V_{\text{сух}} = \frac{\text{Ц}}{1,1} + \frac{\text{Щ}}{1,5} + \frac{\text{П}}{1,56} = 306 + 890 + 408 = 1600 \text{ дм}^3.$$

При цьому

$$\eta = \frac{500}{1600} = 0,312.$$

Помножуючи масу кожного компонента виробничого складу на коефіцієнт $\eta = 0,312$, отримаємо дозування на заміс:

$$\text{Ц} = 105 \text{ кг}; \text{Щ} = 419 \text{ кг}; \text{П} = 206 \text{ кг}; \text{В} = 35 \text{ дм}^3.$$

Всього 765 кг.

Витрату матеріалів на заміс можна визначати за коефіцієнтом виходу бетону. В цьому випадку спочатку визначають коефіцієнт виходу бетону при сухих заповнювачах, а потім витрату матеріалів на заміс, з врахуванням вологості заповнювачів, виходячи з виробничого складу бетону.

Коефіцієнт виходу бетону $k_{\text{в}}$ встановлюють для лабораторного складу за формулою:

$$k_{\text{в}} = \frac{1000}{\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{нас.ц}}} + \frac{\text{П}}{\rho_{\text{нас.п}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{нас.щ}}}} = \frac{1000}{\frac{336}{1,1} + \frac{636}{1,56} + \frac{1332}{1,5}} = 0,625.$$

Знаючи $k_{\text{в}}$ визначають об'єм бетону одного замісу. За місткості бетонозмішувача 500 дм^3 він буде дорівнювати:

$$0,5 \cdot 0,625 = 0,312 \text{ м}^3.$$

Помножуючи масу кожного компонента виробничого складу на об'єм бетону одного замісу, отримаємо дозування матеріалу на заміс бетонозмішувача:

$$\text{Ц} = 336 \cdot 0,312 = 105 \text{ кг}; \text{П} = 661 \cdot 0,312 = 206 \text{ кг};$$

$$\text{Щ} = 1345 \cdot 0,312 = 419 \text{ кг}; \text{В} = 112 \cdot 0,312 = 35 \text{ дм}^3.$$

13 ВИЗНАЧЕННЯ, КОНТРОЛЬ І ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ, БЕТОННОЇ СУМІШІ ТА БЕТОНУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЙОГО СКЛАДУ

13.1 Відповідно до ДБН В.2.6-98, ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ Б В.2.7-47 (ГОСТ 10060.0), ДСТУ Б В.2.7-170, ДСТУ Б В.2.7-176 та інших нормативних документів встановлені класи бетону: за показниками міцності на стиск; за показниками міцності на осьовий розтяг; за показниками морозостійкості; за показниками водонепроникності; стиранності; корозійної стійкості тощо, які повинні бути зазначені в завданні, проекті на розробку бетону.

13.2 Всі характеристики бетону, що задають в проекті, повинні мати стандартні методи їх визначення згідно з вимогами відповідних нормативних документів. За відсутності стандартних методів визначення заданих характеристик методика їх визначення повинна бути викладена в проектній документації.

13.3 Визначати характеристики матеріалів, бетонної суміші та бетону необхідно згідно з наступними стандартами: цементу – ДСТУ Б В.2.7-185, ДСТУ Б В.2.7-186, ДСТУ Б В.2.7-187, ДСТУ Б В.2.7-188; піску – ДСТУ Б В.2.7-232; гравію та щебеню – ДСТУ Б В.2.7-71 (ГОСТ 8269.0); міцність бетону на стиск та розтяг з допомогою руйнівних методів випробувань визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-214; міцність бетону на стиск з допомогою неруйнівних методів випробувань – згідно з ДСТУ Б В.2.7-220 та ДСТУ Б В.2.7-226; рухомість та жорсткість бетонної суміші – згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181); морозостійкість бетону – згідно з ДСТУ Б В.2.7-48 (ГОСТ 10060.1) – ДСТУ Б В.2.7-49 (ГОСТ 10060.2); густина, пористість, водопоглинання, вологість, водонепроникність та коефіцієнт фільтрації бетону – згідно з ДСТУ Б В.2.7-170; стиранність бетону – згідно з ДСТУ Б В.2.7-212.

13.4 Під "контролем" слід розуміти дотримання:

- правил випробувань сировинних матеріалів для бетону;
- правил визначення рухливості або жорсткості бетонної суміші;
- правил виготовлення, обробки і зберігання контрольних зразків до їх випробування;
- правил застосування руйнівних та неруйнівних методів визначення характеристик бетону.

13.5 Контроль якості бетону при проектуванні його складу повинен здійснюватися за трьома основними напрямками:

а) контроль якості сировинних матеріалів, що забезпечує використання матеріалів для приготування бетонної суміші, які повинні відповідати усім вимогам відповідних стандартів або технічних умов на ці матеріали, а також додатковим вимогам, що викладені у завданні на проектування складу бетону;

б) поопераційний контроль всіх технологічних процесів приготування бетонної суміші, виготовлення контрольних зразків бетону та режимів їх тверднення, що забезпечує дотримання встановлених проектом складу бетону та умов його тверднення;

в) контроль якості затверділого бетону, що забезпечує отримання бетону, який відповідає всім вимогам завдання на проектування бетону.

13.6 Поопераційний контроль якості бетону повинен включати в себе:

- контроль відповідності проекту фактичного складу, легкоукладальності та температури бетонної суміші (включаючи добавки);
- контроль відповідності форм для виготовлення зразків вимогам нормативної документації на них;
- контроль дотримання методики виготовлення зразків для визначення характеристик бетону та умов їх тверднення та зберігання.

13.7 Контроль якості затверділого бетону повинен обов'язково включати контроль міцності бетону на стиск згідно з ДСТУ Б В.2.7-214 при застосуванні руйнівних методів визначення міцності бетону та згідно з ДСТУ Б В.2.7-220 при визначенні міцності неруйнівними методами.

Якщо в завданні на проектування бетону встановлені інші характеристики бетону, то вони також повинні бути включені до контролю затверділого бетону. У випадку, коли у відповідних стандар-

тах на методи випробувань не зазначені норми проведення контролю, то ці норми повинні бути вказані у завданні на проектування.

13.8 Під поняттям "оцінювання" слід розуміти:

- встановлення величин необхідних значень нормованих характеристик бетону;
- порівняння (за встановленими правилами) фактичних величин значень характеристик бетону з необхідними та ухвалення рішення про відповідність якості бетону, заданій в проекті.

13.9 При застосуванні статистичних методів контролю та оцінки якості бетону величини необхідних значень встановлюються з урахуванням однорідності цих характеристик, наприклад при визначенні міцності бетону необхідні значення встановлюються згідно з ДСТУ Б В.2.7-224.

13.10 При нестатистичних методах контролю за значення необхідних характеристик приймають нормовані.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

**ОСОБЛИВІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВАЖКИХ БЕТОНІВ РІЗНИХ ВИДІВ
НА РІЗНИХ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛАХ**

Бетон на дрібному піску та крупному заповнювачі

Дрібні піски ($M_{кр}^n = 2,1 - 1$) мають більш однорідний зерновий склад, більшу питому поверхню, низьку насипну густину та підвищену пористість у порівнянні з крупними пісками. Бетон на дрібних пісках характеризується підвищеною водопотребою, більшою витратою цементу та дещо пониженою міцністю. Однак бетонні суміші на дрібних пісках, у порівнянні з крупними пісками, при однаковій осадці конуса мають кращу легкоукладальність, що дозволяє знизити осадку конуса та дещо зменшити перевитрату цементу на 1 м^3 бетону.

Підбір складу бетону на дрібних пісках нічим не відрізняється від підбору складу бетону на крупному піску та здійснюється за одним із викладених у стандарті методів, але з урахуванням вищезазначених особливостей дрібних пісків. При підборі складу бетону із заданою рухомістю бетонної суміші осадку конуса слід знижувати на (2–3) см у порівнянні з бетоном на крупних пісках або оцінку властивостей бетонної суміші робити за показниками легкоукладальності. При визначенні В/Ц значення коефіцієнта А у формулі $f_{cm} = A \cdot R_c \cdot (Ц/В - 0,5)$ рекомендується зменшувати залежно від модуля крупності піску (див. рисунок 10.1). Необхідно також зменшувати вміст піску. Зменшення витрати піску слід регулювати зниженням коефіцієнта заповнення пористості і розсунення зерен щебеню (гравію) розчином (α) або частки піску в суміші заповнювачів (r) і коригувати на основі дослідних замісів бетону (див. рисунки 10.4, 10.5 і таблицю 9.5).

Високоміцний бетон

До якості матеріалів для високоміцного бетону, до дозування та процесу перемішування, а також до ущільнення бетонних сумішей, до догляду за свіжоукладеним бетоном і бетоном, що твердне, висуваються підвищені вимоги. Потрібно застосовувати лише чисті (промиті) та фракційовані заповнювачі. В якості крупного заповнювача потрібно застосовувати лише щебінь високої якості з шорсткуватим зламом для забезпечення необхідного зчеплення із цементно-піщаним розчином. Міцність кам'яної породи, яку використовують для щебеню, повинна перевищувати у два рази та більше марку бетону. Кількість зерен лещадної форми повинна бути не більше ніж 15 % згідно з ДСТУ Б В.2.7-75. Співвідношення між фракціями щебеню встановлюють за найменшою пористістю (найбільшою об'ємною масою) суміші. Модуль крупності піску повинен дорівнювати 2,1 та більше.

Рекомендовано застосовувати портландцемент (бездобавочний) з нормальною густиною цементного тіста (25–26) % та менше, класу міцності 52,5 згідно з ДСТУ Б EN 197-1 (EN 197-1). За необхідності, одержання бетону міцністю, що перевищує активність цементу, обов'язково необхідно застосовувати пластифікуючі добавки. Для масивних конструкцій рекомендується застосовувати цемент зі зниженим вмістом C_3S і C_3A .

У зв'язку з підвищеною витратою цементу приготування бетонної суміші необхідно проводити тільки в бетонозмішувачах примусової дії, а час перемішування сировинних матеріалів збільшувати до (1,5–2,5) хв.

З метою зниження витрати цементу варто застосовувати малорухомі та жорсткі бетонні суміші та вводити добавки ПАР. При виготовленні рухомих бетонних сумішей застосовують ефективні суперпластифікатори. Витрату піску на 1 м^3 бетону необхідно встановлювати з урахуванням підвищеної витрати цементу; вміст піску визначають за значенням показника α (розділи 8, 10) або r (розділ 9) і обов'язково уточнюють на пробних замісах за методикою, викладеною в розділі 12 даного стандарту. В усьому іншому підбір складу такого бетону не відрізняється від підбору звичайного бетону та здійснюється за одним з наведених у даному стандарті методом.

Дрібнозернистий бетон

Розрахунок складу бетону за формулами і графіками виконують в наступній послідовності:

а) водоцементне відношення для піщаного бетону визначають згідно з формулою (10.1). Значення А визначають в залежності від чистоти піску згідно з таблицею А.1.

Таблиця А.1

Бетон	Значення А при вмісті у піску пилу, мулу та глини, %			
	1	2	3	5
Піщаний	0,52	0,51	0,5	0,47

Коефіцієнти K_1 та K_2 приймають згідно з таблицею 10.2.

Дані таблиці А.1 встановлені на піску з $M_{кр}^n = 3$, цементі з НГЦТ = 27 % при Ц/В ≤ 2,25 і жорсткості 5 с згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) за приладом Вебе. На практиці застосовують піски різної крупності, піщано-бетонні суміші різної рухливості і жорсткості, піщаний бетон різних марок (при різних В/Ц).

Значення коефіцієнта А уточнюють за графіком (рисунок А.1), а поправку $\sum \Delta A$ підраховують згідно з таблицею А.2.

Таблиця А.2

Показники для визначення поправки	Поправка
За рухомістю чи жорсткістю суміші (ОК, Ж)	$\pm \Delta A_1$
За модулем крупності піску ($M_{кр}^n$)	$\pm \Delta A_2$
За нормальною густиною цементного тіста	$\pm \Delta A_3$
За цементно-водним відношенням (Ц/В)	$-\Delta A_4$
	$\sum \Delta A$

Уточнене В/Ц з урахуванням поправки встановлюють згідно з формулою (10.2);

б) витрату піску, $кг/м^3$, визначають за формулою:

$$\Pi = \frac{\rho_{нас.п} \cdot V_{п.б.с}}{1 + V_{п.с.п} \cdot (\alpha_{ц.т} - 1)}, \quad (A.1)$$

де $\alpha_{ц.т}$ – визначають згідно з рисунком А.2 (рисунок А.2 побудований при Ц/В ≤ 2,25; НГЦТ = 28 %; $M_{кр}^n = 1$);

$V_{п.б.с}$ – встановлюють згідно з рисунком А.3;

в) абсолютний об'єм піску, $дм^3/м^3$, визначають за формулою:

$$V_{п} = \frac{\Pi}{\rho_{п}}; \quad (A.2)$$

г) об'єм втягнутого (затиснутого) повітря, $дм^3/м^3$, визначають за формулою:

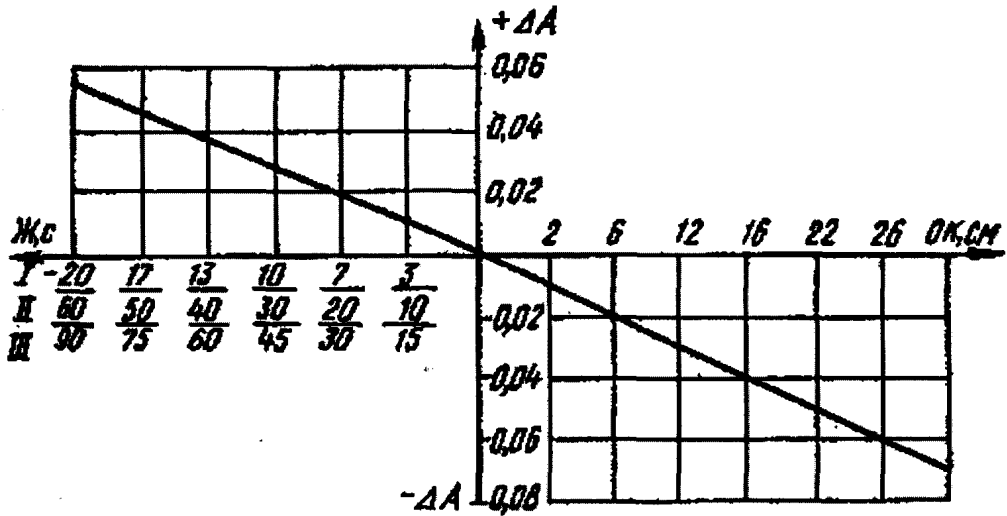
$$V_{в} = 1000 - V_{п.б.с}; \quad (A.3)$$

д) абсолютний об'єм цементного тіста, $дм^3/м^3$, визначають за формулою:

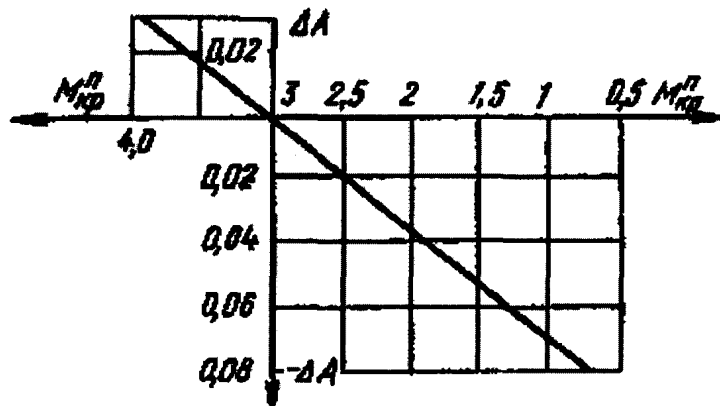
$$V_{ц.т.} = 1000 - (V_{п} + V_{в}); \quad (A.4)$$

е) вихід цементного тіста на 1 кг цементу при розрахунковому В/Ц визначають за формулою:

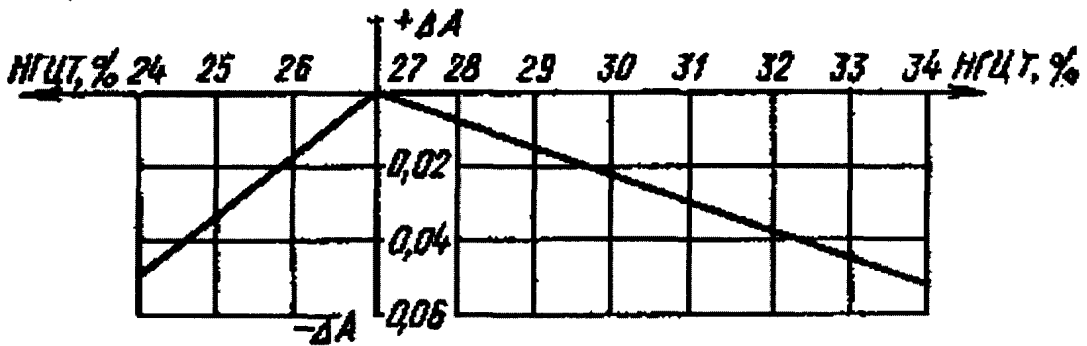
а)



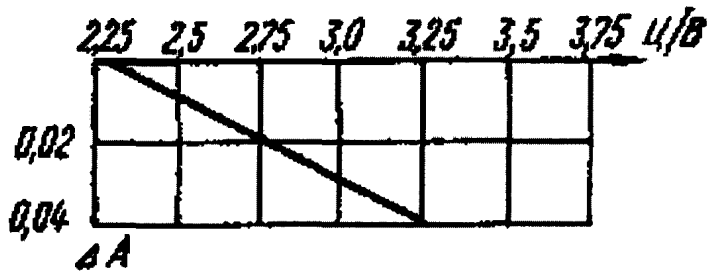
б)



в)



г)



I, II, III – визначення жорсткості (див. рисунок 1)

Рисунок А.1 – Графік для уточнення коефіцієнта А в залежності від рухомості і жорсткості бетонної суміші а), модуля крупності піску б), нормальної густоти цементного тіста в) і цементно-водного відношення г)

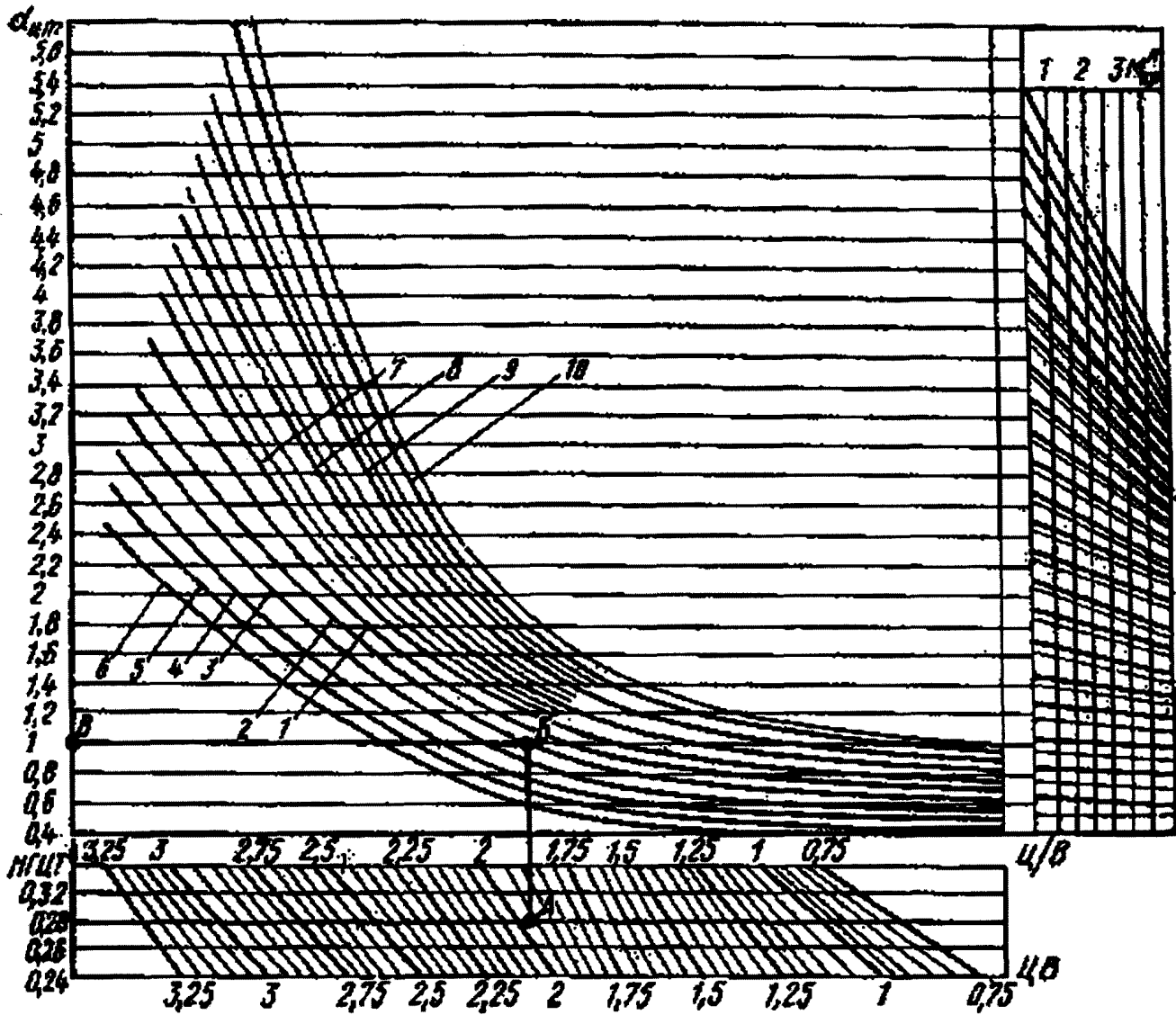


Рисунок А.2 – Номограма для визначення коефіцієнта заповнення пустот і розсуну зерен піску цементним тістом ($\alpha_{ц,т}$) в залежності від рухомості (жорсткості) суміші, Ц/В, $M_{кр}^n$, НГЦТ, Ж, с:
 криві 1 – 3, 10, 15; 2 – 7, 20 30; 3 – 10; 30, 45; 4 – 13, 40, 60; 5 – 17, 50, 75; 6 – 20, 60, 90
 (жорсткість визначалася трьома методами (див. рисунок 8.1));
 ОК, см: криві 7 – 2; 8 – 6; 9 – 14 і 10 – 22

$$V'_{ц,т} = \frac{1}{\gamma_{ц}} + \frac{B}{Ц} = \frac{1}{3,1} + \frac{B}{Ц}; \quad (A.5)$$

ж) витрату цементу, $кг/м^3$, визначають за формулою:

$$Ц = \frac{V_{ц,т}}{V'_{ц,т}}; \quad (A.6)$$

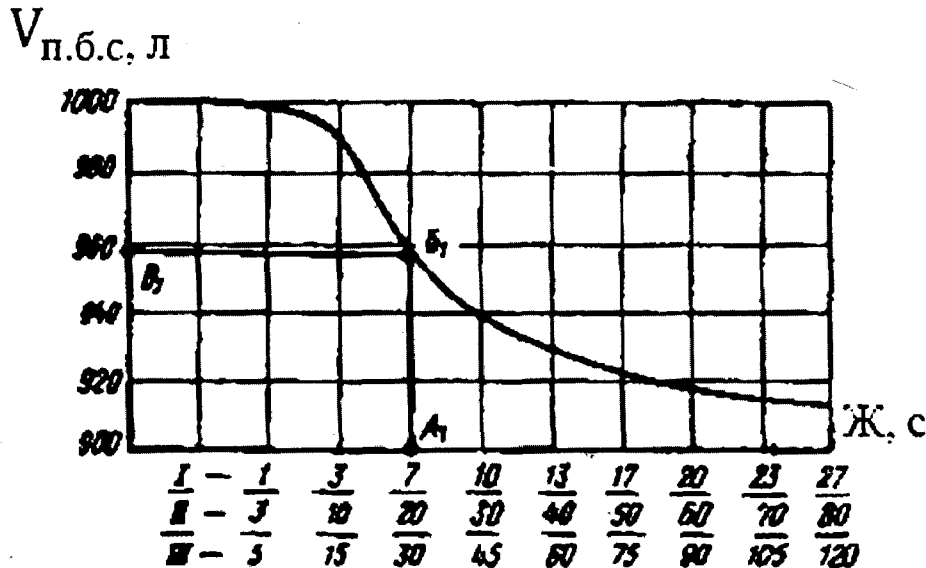
з) витрату води, $дм^3/м^3$, визначають за формулою:

$$B = Ц \cdot V/Ц; \quad (A.7)$$

і) теоретичну об'ємну масу суміші, $кг/м^3$, визначають за формулою:

$$\rho_{п.б.с} = Ц + П + B; \quad (A.8)$$

к) уточнення розрахункового складу бетону.



I, II, III – визначення жорсткості (див. рисунок 8.1)

Рисунок А.3 – Графік для визначення абсолютного об'єму піщано-бетонної суміші ($V_{п.б.с}$) в залежності від жорсткості бетонної суміші

Для уточнення розрахункового складу піщаного бетону замішують пробний один заміс. Якщо жорсткість виявиться заданою, то цей склад приймають за основу. Якщо жорсткість виявиться більше необхідної, то додають цемент і воду (при розрахунковому В/Ц), а якщо менше заданої – пісок.

Після уточнення складу бетону за жорсткістю або рухомістю суміші виконують уточнення В/Ц, для чого замішують три склади бетонової суміші: один склад при розрахунковому В/Ц і уточненому складі та два додаткових при В/Ц, що відрізняється від основного на $\pm 0,05$. Після випробування кубів приймають кінцевий склад піщаного бетону, який має задану міцність або міцність, яка перевищує задану на (5–10) %.

Приклад

Потрібно підібрати склад дрібнозернистого бетону з класом міцності бетону на стиск С 16/20 при $f_{cm.cube} = 30$ МПа, жорсткістю 7 с – згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) за приладом Вебе.

Характеристика матеріалів: пісок $\rho_{нас.п} = 1,46$ кг/дм³, $\rho_п = 2,61$ кг/дм³, $V_{п.с.п} = 44$, $M_{кр}^п = 1$, вміст пилу і мулу 1 %. Цемент СЕМ І 42,5 N, мінералогічний склад середньоалюмінатний, НГТЦ = 28 %, $\rho_ц = 3,1$ кг/дм³.

Дозування компонентів – за масою, рівень виробництва робіт середній ($C_п = 13$ %), умови тверднення – пропарювання.

Розрахунок виконують в наступній послідовності. Визначають:

а) попереднє В/Ц згідно з формулою (10.1):

$$В/Ц = \frac{0,52 \cdot 50}{\frac{30}{0,95 \cdot 0,95} + 0,5 \cdot 0,52 \cdot 50} = 0,565 ;$$

$$Ц/В = \frac{1}{0,565} = 1,77,$$

де $A = 0,52$ (згідно з таблицею А.1); $K_1 = K_2 = 0,95$ (згідно з таблицею 10.2).

Уточнюють коефіцієнт A за графіком (див. рисунок А.1) і за таблицею А.3 підраховують поправку $\sum \Delta A$.

б) розрахункове В/Ц згідно з формулою (10.2):

$$В/Ц = \frac{(0,52 - 0,06) \cdot 50}{\frac{30}{0,95 \cdot 0,95} + 0,5 \cdot (0,52 - 0,06) \cdot 50} = \frac{230}{448} = 0,51;$$

$$Ц/В = \frac{1}{0,51} = 1,96;$$

Таблиця А.3

Вид поправки		Величина поправки
За $M_{кр}^п$	ΔA_1	- 0,07
За Ж	ΔA_2	+ 0,02
За НГЦТ	ΔA_3	- 0,01
$\sum \Delta A$		- 0,06

в) витрату піску згідно з формулою (А.1):

$$\Pi = \frac{1,46 \cdot 958}{1 + 0,44(1-1)} = 1400 \text{ кг/м}^3,$$

де $\alpha_{ц.т.} = 1$ (згідно з рисунком А.2, точки А, Б, В);

$V_{п.б.с.} = 958$ (згідно з рисунком А.3, точки А₁, Б₁, В₁);

г) абсолютний об'єм піску згідно з формулою (А.2):

$$V_{п} = \frac{1400}{2,61} = 536 \text{ дм}^3/\text{м}^3;$$

д) об'єм затиснутого повітря згідно з формулою (А.3):

$$V_{в} = 1000 - 958 = 42 \text{ дм}^3/\text{м}^3;$$

е) абсолютний об'єм цементного тіста згідно з формулою (А.4):

$$V_{ц.т.} = 1000 - (536 + 42) = 422 \text{ дм}^3/\text{м}^3;$$

ж) вихід цементного тіста з 1 кг цементу згідно з формулою (А.5):

$$V'_{ц.т} = \frac{1}{3,1} + 0,51 = 0,323 + 0,51 = 0,833 \text{ дм}^3/\text{кг};$$

з) витрату цементу згідно з формулою (А.6):

$$Ц = \frac{422}{0,833} = 507 \text{ кг/м}^3;$$

і) витрату води згідно з формулою (А.7):

$$В = 507 \cdot 0,51 = 258 \text{ дм}^3/\text{м}^3;$$

к) теоретичну об'ємну масу бетону згідно з формулою (А.8):

$$\rho_{п.б.с.}^T = 507 + 1400 + 258 = 2165 \text{ кг/м}^3.$$

Уточнюють розрахунковий склад дрібнозернистого (піщаного) бетону на пробних замісах.

Матеріали	Витрата матеріалів на 10 дм ³ бетонної суміші
Пісок	14 кг
Цемент	5,07 кг
Вода	2,58 дм ³

Пробний заміс вказує, що фактична жорсткість бетонної суміші становить 7 с (згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) за приладом Вебе), середня густина – 2,17 кг/дм³. Отже, склад бетону підібраний вірно. Якщо жорсткість отримали значно менше заданої, то додаємо пісок, а якщо більше, то цемент і воду (при В/Ц = 0,51). Після отримання необхідної жорсткості бетонної суміші визначають середню густину і витрату матеріалів на один заміс.

Для уточнення В/Ц замішують додатково ще два склади бетонної суміші при В/Ц = 0,46 і В/Ц = 0,56. Після цього на пробних замісах уточнюють жорсткість, середню густину і витрату матеріалів на 1 м³ бетону. Потім роблять ще три заміси бетонної суміші, виготовляють бетонні зразки-куби і на основі результатів випробувань встановлюють кінцевий склад бетону для виробництва. Всі результати випробувань експериментальної перевірки зводять в таблицю А.4.

Таблиця А.4

Матеріали і характеристики піщаного бетону	Склад		
	№ 2	№ 1	№ 3
Цемент, кг	5,9	5,07	4,2
Пісок, кг	13,08	14	15,15
Вода, дм ³	2,72	2,58	2,35
Жорсткість, с	5/19/29	6/20/30	7/22/32
Середня густина, кг/дм ³	2,17	2,17	2,17
Водоцементне відношення	0,46	0,51	0,56
Міцність, МПа	35,0	33,2	30,0
<p>Примітка 1. З урахуванням коефіцієнтів K_1 і K_2 у формулі (10.1) міцність бетону повинна бути 33,0 МПа. З таблиці видно, що склад № 2 має підвищену міцність, а склад № 3 – понижену. Для виробництва приймають склад № 1.</p> <p>Примітка 2. Жорсткість бетонної суміші визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) на приладі типу Вебе.</p>			

Розрахунок складу бетону за спрощеним методом виконують відповідно до ДБН А 3.1-7 в наступній послідовності:

а) міцність на стиск і Ц/В для дрібнозернистого (піщаного) бетону на піску середньої якості, що твердне за нормальних умов з пропарюванням, визначають за формулами:

$$f_{cm} = 0,4 \cdot R_{ц} \left(\frac{Ц}{В} - 0,43 \right); \quad (A.9)$$

$$\frac{Ц}{В} = \frac{f_{cm}}{0,4 \cdot R_{ц}} + 0,43; \quad (A.10)$$

б) кількість матеріалів на 1 м³ бетоної суміші визначають за формулами:

$$Ц = \frac{P_{п.б.с.}}{1 + \frac{п' + д'_м + в}{ц'}}; \quad (A.11)$$

$$П = Ц \cdot \frac{п'}{ц'}; \quad (A.12)$$

$$D_M = C \cdot \frac{D'_M}{C'}; \quad (A.13)$$

$$B = C \cdot \frac{B'}{C'}, \quad (A.14)$$

де $C, П, D_M$ і B – витрати цементу, піску, мінеральної добавки і води, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $c', п', d'_M, в'$ – те саме, у пробних замісах;

$\rho_{п.б.с}$ – середня густина дрібнозернистої бетонної суміші;

в) вимоги за рухомістю або жорсткістю бетонної суміші, міцністю, водонепроникністю і морозостійкістю дрібнозернистого бетону визначають проектом і перевіряють на дослідних замісах та при випробуванні зразків.

Приклад

Потрібно підібрати склад дрібнозернистого бетону класу С 12/15 нормального тверднення на портландцементі СЕМ І 32,5 N (якщо відома активність цементу, в розрахунок вводять її) і піску середньої крупності з насипною густиною $1500 \text{ кг}/\text{см}^3$. Рухомість суміші 5 с (згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181) за приладом типу Вебе). Розрахунок складу бетону виконують в наступній послідовності. Визначають:

а) потрібне C/B згідно з формулою (A.10):

$$C/B = \frac{20}{0,4 \cdot 40} + 0,43 = 1,68 \quad (B/C = 0,6);$$

б) кількість матеріалів на пробний заміс об'ємом 7 дм^3 , приймають усереднену витрату води $220 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ і витрату піску $1 \text{ м}^3/\text{м}^3$:

$$B' = \frac{220 \cdot 7}{1000} = 1,54 \text{ дм}^3;$$

$$C' = B' \cdot C / B = 1,54 \cdot 1,68 = 2,59 \text{ кг};$$

$$П' = \frac{1 \cdot 1500 \cdot 7}{1000} = 10,5 \text{ кг}.$$

Готують перший пробний заміс і визначають жорсткість бетонної суміші. Вона отримана значно більша.

Вводять добавку цементу і води по 0,1 від їх вмісту у пробному замісі до досягнення заданої жорсткості 5 с. Необхідно було ввести одну добавку. Вміст матеріалів у відкоригованому пробному замісі:

$$b' = 1,54 + 0,154 = 1,69 \text{ кг};$$

$$c' = 2,59 + 0,259 = 2,85 \text{ кг};$$

$$п' = 10,5 \text{ кг}.$$

Склад бетонної суміші за масою $C : П : B = 1 : 3,7 : 0,6$;

в) середню густина ($\rho_{п.б.с}$) у мірному циліндрі об'ємом 1 дм^3 , жорстко закріпленому на вібростолі, ущільнюють її 5 с.

Середня густина отримана $\rho_{п.б.с} = 2200 \text{ кг}/\text{м}^3$;

г) витрату матеріалів, $\text{кг}/\text{м}^3$, суміші:

$$C = \frac{2200}{1 + \frac{10,5 + 1,69}{2,85}} = 417;$$

$$П = 417 \cdot \frac{10,5}{2,85} = 1536 ;$$

$$В = 417 \cdot \frac{1,69}{2,85} = 248 .$$

Готують контрольні зразки-куби, які випробовують після пропарювання або у віці 28 діб нормального тверднення у відповідності з вимогами ДСТУ Б В.2.7-214.

Міцність зразків повинна оцінюватися згідно з ДСТУ Б В.2.7-214 і відповідати заданому класу.

Якщо міцність бетону становить більше або менше заданої, виконують коригування складу Ц/В, наведеному у розділі 12 даного стандарту.

За необхідності отримання водонепроникного, морозостійкого чи корозійно-стійкого бетону необхідно дотримуватися рекомендацій щодо вибору в'язучого і проводити випробування зразків дрібнозернистого бетону на ці впливи.

Для зниження витрат цементу у дрібнозернистому бетоні низьких класів потрібно застосовувати мінеральні добавки (мелений гранульований шлак, золу – виносу теплових електростанцій тощо), а у бетоні високих класів – пластифікуючі і повітровтягувальні добавки, які, крім того, підвищують морозостійкість дрібнозернистого бетону.

Склад монолітного дрібнозернистого бетону, твердіючого за температури 20 °С, можна визначити за рекомендаціями, наведеними в [1].

Бетон дорожніх та аеродромних покриттів

Основні показники за призначенням: класи міцності бетону на осьовий розтяг та стиск, марка за морозостійкістю – встановлюють залежно від категорії дороги та розрахункової температури відповідно до вимог ДБН В.2.3-4.

Для бетону дорожніх та аеродромних покриттів треба застосовувати портландцемент із вмістом трьохкальцієвого алюмінату менше 10 %.

Розрахунок складу бетону виконують згідно із загальними формулами для всіх бетонів і згідно з [3]. Значення Ц/В приймають такої величини, щоб задовольняти вимогам міцності на стиск та осьовий розтяг. Значення морозостійкості бетону регулюють об'ємом втягнутого повітря та витратою цементу. Однак, для бетонів дорожніх і аеродромних покриттів значення коефіцієнта розсунення зерен крупного заповнювача рекомендовано приймати в межах 1,5–1,6.

Бетон дорожніх та аеродромних покриттів працює як плита на пружній основі. Пісок допускається застосовувати з $M_{кр} = 2$ і більше.

Крупний заповнювач (щебінь, гравій, щебінь із гравію і доменного шлаку) допускається до використання з вмістом зерен лещадної форми до 25 %. Найбільша крупність щебеню (гравію) для одношарових покриттів може бути 40 мм, а для верхнього шару двошарових покриттів – 20 мм. Міцність вихідної породи щебеню для одношарових і верхнього шару двошарових покриттів повинна бути: для вивержених порід > 120 МПа, осадових > 80 МПа, а для нижнього шару двошарових покриттів – відповідно > 80 МПа і > 60 МПа.

Для одношарових і двошарових покриттів необхідно використовувати лише бездобавочний портландцемент із класом міцності 42,5 і вище (допускається, як виключення, при техніко-економічному обґрунтуванні застосування цементу з класом міцності 32,5), а для основ удосконалених доріг – портландцемент із мінеральними добавками з класом міцності 32,5. Вміст трьохкальцієвого алюмінату в цементі для бетону покриттів повинен бути не більше ніж 10 %, а для бетону основи – не нормується.

При порівняно невеликій товщині ((15–25) см) бетонні покриття мають велику відкриту поверхню, що сприяє інтенсивному випаровуванню води та можливій появі тріщин. Щоб уникнути шкідливого впливу цих факторів, необхідно застосовувати бетонні суміші з осадкою конуса (2–4) см, із оптимальним вмістом піску, що виключає надлишкову кількість розчинної частини, і забезпечувати своєчасний догляд за свіжоукладеним та тверднучим бетоном. Водоцементне відношення для бетону одношарових і верхнього шару двошарових покриттів повинне бути не більше ніж 0,5, для

нижнього шару двошарових покриттів – не більше ніж 0,6. Враховуючи роботу бетону під сумісним впливом від'ємних температур і агресивного середовища, у бетонну суміш необхідно вводити пластифікуючі, пластифікуючі-повітровтягувальні, повітровтягувальні добавки тощо, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-171.

Вміст втягнутого повітря повинен бути для бетону одношарового покриття і верхнього шару двошарових покриттів у межах (5–6) %; для нижнього шару двошарових покриттів у межах (3,5–4,5) %. Необхідно також контролювати осадку конуса та вміст піску, щоб не допустити опливання бетону на гранях плити.

Підбір складу бетону повинен здійснюватись згідно з методами, що викладені в даному стандарті. Розрахунок складу здійснюють за показниками міцності на стиск із забезпеченням необхідної міцності на згин або за міцністю на згин із забезпеченням заданої міцності на стиск та морозостійкістю. Рухомість бетонних сумішей визначають згідно з вимогам ДСТУ Б В.2.7-114, а за необхідності врахування її ступеня ущільності згідно з ДСТУ Б В.2.7-176 рухомість визначають за рекомендаціями згідно з [2].

Бетон для збірних конструкцій, що виготовляють з пропарюванням

Для виготовлення виробів і конструкцій з бетону класу С 25/30 і нижче застосовують шлакопортландцемент і портландцемент із мінеральними добавками, а з бетону класу С 30/35 і вище – бездобавочний портландцемент із класом міцності 42,5 і 52,5. Рекомендовано застосовувати пластифіковані та гідрофобні цементы або пластифікуючі та повітровтягуючі добавки, що дозволяють знижувати витрату цементу. Заповнювачі необхідно застосовувати чистими і фракціонованими, які задовольняють вимоги ДСТУ Б В.2.7-43.

На прискорення тверднення бетону впливають мінералогічний склад і активність цементу, склад бетону та рухомість бетонної суміші, час попередньої витримки, режим теплової обробки, вид форм (відкриті або закриті), у яких пропарюється виріб тощо. Оскільки вплив всіх цих факторів врахувати дуже складно то підбір складу бетону повинен ґрунтуватися на проведенні пробних замісів при конкретно застосовуваних матеріалах, при трьох – чотирьох значеннях Ц/В та теплової обробці бетонних зразків за встановленим на заводі залізобетонних виробів режимом пропарювання. На основі отриманих показників міцності будують залежність $f_{cm} = f(\text{Ц/В})$ і потім графічно визначають необхідне значення Ц/В. Цементно-водними співвідношеннями для пробних замісів можна задатися, як зазначено в розділі 9 даного стандарту, або визначити їх розрахунком згідно з формулами (10.1) і (10.2), таблиці 10.1 і 10.2 даного стандарту. Потім виконують пробні заміси при визначеному Ц/В та двох інших значеннях, що відрізняються від нього на $\pm 0,2$. З кожного складу виготовляють зразки-куби, потім їх пропарюють та випробовують. На основі отриманих даних будують графік $f_{cm} = f(\text{Ц/В})$ і остаточно встановлюють необхідне Ц/В з наступною перевіркою забезпечення проектної марки бетону f_{ck} .

При стандартному режимі теплової обробки бетону (2 + 4 + 6 + 2) за температури ізотермічного прогріву (80 ± 5) °С, з випробуванням через 4 год після її закінчення, підбір складу дрібнозернистого бетону можна виконувати за рекомендаціями, наведеними в [1]. За рекомендаціями [1] також можна визначити склад важкого бетону, тверднучого в умовах теплової обробки при стандартному режимі теплової обробки бетону (2 + 3 + 6 + 2) за температури ізотермічного прогріву 85 °С з випробуванням через 4 год після її закінчення.

Бетон з мінеральними та хімічними добавками

Склад бетону з добавками необхідно визначати згідно з ДСТУ-Н Б В.2.7-175 шляхом коригування складу бетону без добавки або за рекомендаціями, наведеними в [1].

Гідротехнічний бетон

Бетон гідротехнічних споруд поділяють за зонами на: підводну (яка постійно знаходиться у воді), зону перемінного рівня води (яка піддається багаторазовому заморожуванню та відтаванню або насиченню і висушуванню), надводну (яка зазнає епізодичного омивання водою та впливу атмосфер-

них опадів) та внутрішньомасивну. Тому, до гідротехнічного бетону та матеріалів для нього висувають різні вимоги на стиск, морозостійкість, водонепроникність, стиранність і кавітаційну стійкість, усадку, термічне розширення. Залежно від умов роботи елементів конструкцій і споруд допускається встановлювати клас бетону при стиску та водонепроникності в терміни 60, 90 і 180 діб. Для гідротехнічного бетону застосовують сульфатостійкий портландцемент, портландцемент із мінеральними добавками, пуцолановий цемент та шлакопортландцемент. Наведені цементи можуть виготовлятися з пластифікуючими та гідрофобними добавками. Для підводного та внутрішнього масивного бетону перевагу надають пуцолановим портландцементом або шлакопортландцементом, оскільки бетон на цих в'язучих має більшу стійкість як у прісній, так і в мінералізованій воді та менше тепловиділення. Однак бетон на таких цементах має низьку морозостійкість. Для зони перемінного рівня води варто застосовувати сульфатостійкий портландцемент та портландцемент із мінеральними добавками.

На цих видах цементу одержують бетон потрібної морозостійкості та водонепроникності. Вміст C_3A в цементі для гідротехнічного бетону зони перемінного рівня води повинен бути в межах до (5–7) %, а сума $C_3A + C_4AF$ повинна бути не менше ніж 20 %. За наявності агресивного середовища необхідно застосовувати сульфатостійкий цемент. Для підвищення морозостійкості та водонепроникності необхідно вводити СДБ, СНВ, милонафт тощо. Для зменшення витрати цементу, тепловиділення та об'ємних деформацій у бетон підводних зон, внутрішньомасивний та надводний бетон необхідно вводити різноманітні мінеральні добавки. Заповнювачі для гідротехнічного бетону повинні забезпечувати необхідну міцність, морозостійкість, водонепроникність, а гідротехнічний бетон повинен задовольняти вимогам ДСТУ Б В.2.7-43.

Підбір складу гідротехнічного бетону здійснюють за одним із викладених у даному стандарті методів або згідно з [3], але з урахуванням особливостей, умов роботи бетону і виконання робіт. Спеціальні вимоги щодо морозостійкості та водонепроникності забезпечують застосуванням матеріалів, належним підбором В/Ц (за умов забезпечення не тільки міцності, але і морозостійкості та водонепроникності), призначенням оптимальної витрати цементу і піску, застосуванням мікронаповнювачів та пластифікуючих, повітровтягувальних добавок. Розрахункове В/Ц повинно бути не більше ніж максимально встановлене у ДСТУ Б В.2.6-145. Склад бетону підбирають заздалегідь, до початку будівництва, на матеріалах, що підлягають використанню, з обов'язковим випробуванням бетону безпосереднім заморожуванням. Потім, під час будівництва бетон випробовують на морозостійкість у терміни, встановлені у відповідних нормативних документах.

Бетон для зимового бетонування

Склад бетону для зимового бетонування (при термосному витримуванні і при застосуванні протиморозних добавок) доцільно визначати згідно з [3].

Бетон для бетонування в умовах сухого жаркого клімату

Склад бетону для бетонування в умовах сухого жаркого клімату доцільно визначати згідно з [3].

Швидкотверднучий бетон

Основна вимога, пропонована до швидкотверднучого бетону – це забезпечення високої міцності в ранньому віці за природного тверднення або при скорочених режимах пропарювання, а також міцності в 28-добовому віці. Для приготування швидкотверднучого бетону потрібно застосовувати швидкотверднучий портландцемент або швидкотверднучий шлакопортландцемент, або портландцемент із високим вмістом трьохкальцієвого алюмінату з додатковим введенням гіпсу (2–4 %), або спеціальних комплексних добавок з рекомендаціями фірм, що їх виготовляють.

Поряд із застосуванням спеціальних цементів і введенням прискорювачів тверднення для одержання високої міцності в ранній термін необхідно застосовувати максимально можливі низькі водоцементні відношення, жорсткі бетонні суміші, чисті фракційовані заповнювачі та комплексні заходи, які забезпечують найкращі результати. При цьому необхідно враховувати той факт, що приріст міцності не є прямою сумою приросту міцності, що досягається кожним методом або фактором окремо.

Підбір складу бетону необхідно проводити на основі трьох-чотирьох пробних замісів. Водоцементне відношення визначають, виходячи з забезпечення необхідної міцності в заданий термін (1 доба – 3 доби) при природному твердненні або після пропарювання за звичайним або скороченим режимом. В іншому, підбір складу бетону здійснюється звичайним методом.

Морозостійкий бетон

Щоб отримати морозостійкий бетон необхідно застосовувати матеріали високої якості, що повністю відповідають вимогам стандартів на них.

В'язуче повинне бути лише на основі портландцементного клінкеру з обмеженим вмістом трикальцієвого алюмінату (не більше ніж 8 %), при цьому рекомендується застосовувати: сульфатостійкі портландцементи (згідно з ДСТУ Б В.2.7-85 (ГОСТ 22266)) – для бетонів морозостійкістю до F1000 без добавок, до F500 з мінеральними добавками, до F100 – шлакопортландцемент; портландцементи (згідно з ДСТУ Б В.2.7-46) – для бетонів з морозостійкістю до F500 без добавок, до F300 з мінеральними добавками.

Всі види цементів можуть бути пластифікованими або гідрофобними (згідно з ДСТУ Б В.2.7-46).

У всіх випадках бетон на прийнятому до застосування в'язучому повинен бути перевірений на морозостійкість за ДСТУ Б В.2.7-47 (ГОСТ 10060.0), ДСТУ Б В.2.7-49 (ГОСТ 10060.2).

Для бетонів марки F200 і вище варто застосовувати лише морозостійкий щебінь високої якості з порід міцністю в (1,5–2) рази вище за марку необхідного бетону.

Для бетонів марки до F200 дозволяють застосовувати морозостійкий гравій.

Співвідношення між фракціями підбирають з умов найменшої пустотності суміші.

Пісок повинен мати модуль крупності 2,1 та вище.

Якщо цемент не мають пластифікуючих або гідрофобних добавок, введених при заводському помолі, необхідно вводити добавки згідно з ДСТУ Б В.2.7-171.

Застосування поверхнево-активних добавок повинне забезпечувати вміст в бетонній суміші (3–6) % повітря або газу за об'ємом.

Розрахунок складу морозостійкого бетону здійснюють за показниками міцності одним з викладених у стандарті методів. Якщо розрахункове В/Ц вийде більше, ніж допускається у відповідних нормативних документах на бетони тих або інших конструкцій і споруд, то при підборі приймають допустиме значення, а якщо менше – то розрахункове водоцементне відношення.

Після уточнення В/Ц подальший розрахунок складу бетону ведеться звичайним методом. Щоб виключити можливість помилки, зразки для перевірки на міцність та морозостійкість виготовляють із трьох складів бетону: отриманого в результаті розрахунку та двох інших, що відрізняються за В/Ц від розрахункового на $\pm 0,05$.

Морозостійкість підібраних складів бетону перевіряють безпосереднім випробуванням на багаторазове заморожування та відтавання згідно з ДСТУ Б В.2.7-48 (ГОСТ 10060.1). Для можливості оперативної оцінки морозостійкості рекомендовано одночасно провести випробування бетону одним із прискорених методів згідно з ДСТУ Б В.2.7-49 (ГОСТ 10060.2) з визначенням залишкових деформацій, при заморожуванні до мінус 50 °С або за компенсацийним фактором.

Склад морозостійкого бетону з втягнутим повітрям доцільно визначати згідно з [3].

Особливо важкі та гідратні бетони

Особливо важкі та гідратні бетони застосовують у спеціальних спорудах для захисту від радіоактивних впливів.

До особливо важких відносять бетони з середньою густиною більше ніж 2500 кг/м³ і до 5 т/м³, до гідратних – бетони, що містять велику кількість хімічнозв'язаної та напівзв'язаної води.

Для виробництва особливо важких бетонів застосовують портландцемент, пуцолановий портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистий цемент, гіпсоглиноземистий цемент, що розширюється.

У гідратних бетонах для максимального збільшення вмісту в бетоні зв'язаної води рекомендовано застосовувати глиноземистий цемент, безусадковий цемент, що розширюється, швидкотверднучий, з підвищеним вмістом гіпсу, самонапружуючий цемент з малою енергією розширення.

В якості заповнювачів в особливо важких бетонах використовують матеріали з високою щільністю: магнетит, гематит, барит, металевий скрап тощо; у гідратних бетонах – лімоніт та серпентиніт. У комбінованих бетонах застосовуються важкі і звичайні заповнювачі: щебінь, гравій, пісок.

До заповнювачів для особливо важких і гідратних бетонів висувають наступні додаткові вимоги:

а) за мінімальною міцністю на стиск: чавунний скрап – 200 МПа, магнетит – 200 МПа, лімоніт або гематит – 35 МПа, барит – 40 МПа (випробування циліндричних зразків діаметром і висотою 50 мм);

б) за густиною заповнювачів: чавунний скрап – (7–7,1) т/м³; магнетит – (4–5,2) т/м³; лімоніт – (3,2–4) т/м³; гематит – (4,5–5,3) т/м³; барит – (4,3–4,7) т/м³; серпентиніт – (2,5–2,7) т/м³;

в) за насипною густиною заповнювачів: чавунний дріб – (4,5–4,6) т/м³; обрізки заліза – (2,4–4,28) т/м³; магнетит – (2,4–2,5) т/м³; лімоніт – (1,3–3,2) т/м³; гематит – (2,4–2,5) т/м³; барит – (2,7–3,0) т/м³; серпентиніт – (1,5–1,6) т/м³;

г) за вмістом полуторних оксидів (Al₂O₃ і Fe₂O₃) у бариті – не більше ніж 1 % від маси заповнювачів;

д) за водопоглинанням: магнетит і барит – (0,15–0,2) %; лімоніт і гематит – (9–10) % за масою.

Для поліпшення захисних властивостей особливо важких бетонів до їх складу вводять добавки, які містять легкі елементи: літій, кадмій і бор, наприклад, карбід бору, хлористий літій, сірчанокислий кадмій тощо.

Вихідними величинами при розрахунку складів особливо важких і гідратних бетонів є: середня густина бетону, що забезпечує задані захисні властивості від гамма-випромінювання; вміст хімічнозв'язаної води, що забезпечує захист від нейтронного випромінювання; задані рухомість бетонної суміші та міцність бетону.

Розрахунок складу особливо важкого бетону здійснюють в наступній послідовності.

Визначають:

1) В/Ц – згідно з формулою (8.1).

Для бетонів на лимонітовому піску з крупним заповнювачем у вигляді чавунного скрапу або щебеню твердої породи, а також для бетонів на баритовому або магнетитовому заповнювачах значення А приймається для заповнювачів високої якості рівним 0,6, середньої якості – 0,55, низької – 0,5;

2) витрату води на 1 м³ бетону – згідно з графіком на рисунку А.4.

Для забезпечення однорідності бетонної суміші рекомендують застосовувати малорухомі бетонні суміші з осадкою конуса (1–3) см та жорсткістю (20–25) с за технічним віскозиметром або (4–6) с згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 (ГОСТ 10181);

3) витрату цементу визначають згідно з формулою (8.3);

4) витрату заповнювачів – за формулою:

$$З = П + Щ = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + В \right) \right] \cdot \rho_{з}; \quad (A.15)$$

5) частку піску в суміші заповнювачів обчислюють за формулою:

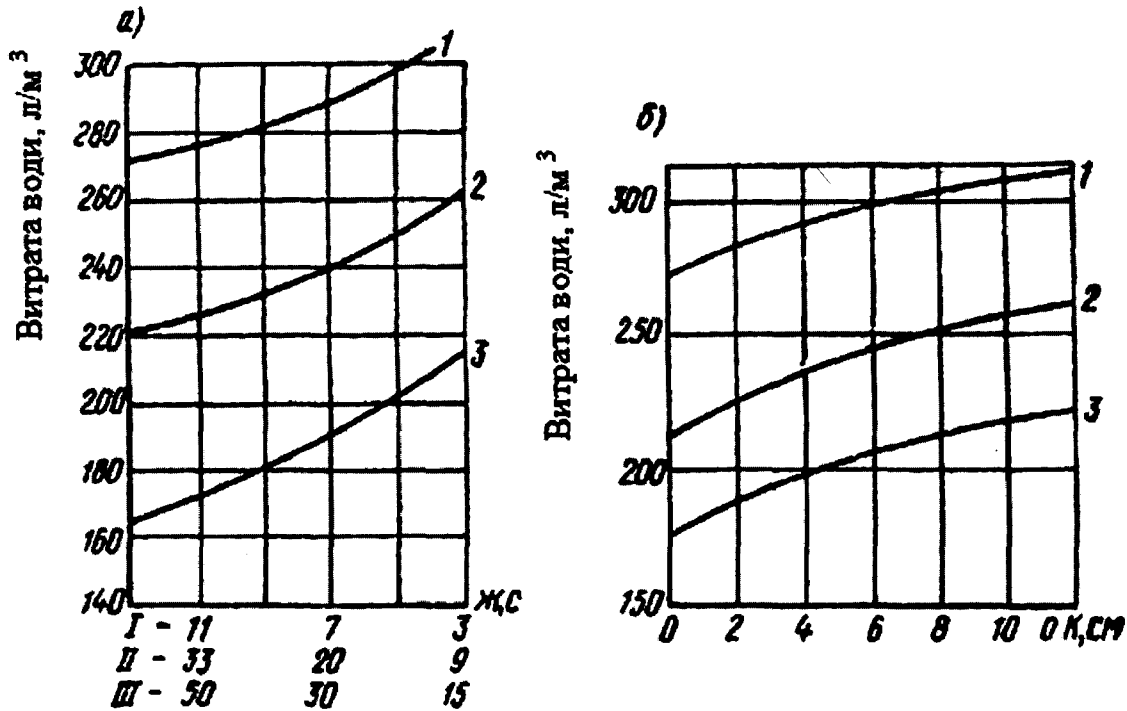
$$r = \frac{V_{п.щ} \cdot \rho_{нас.п}}{\rho_{нас.щ} + V_{п.щ} \cdot \rho_{нас.п}} + \Delta r, \quad (A.16)$$

де Δr – уточнююча поправка для особливо важких бетонів, що дорівнює 0,08–0,1;

6) витрата піску – за формулою:

$$П = r \cdot З, \quad (A.17)$$

7) витрата щебеню – за формулою:



а) – жорсткі суміші; б) – пластичні суміші; 1 – лімоніт + лімоніт; 2 – лімоніт + магнетит, магнетит + магнетит; лімоніт + чавун; лімоніт + барит; 3 – барит + барит; пісок + чавун; пісок + щебені; І, ІІ, ІІІ – визначення жорсткості (див. рисунок А.1)

Рисунок А.4 – Водопотреба бетонної суміші для особливо важких бетонів на заповнювачах різного виду (Щ + П)

$$\text{Щ} = (1 - r) \cdot 3. \tag{A.18}$$

На пробному замісі перевіряють жорсткість або осадку конуса бетонної суміші та середню густину свіжеукладеного бетону, за яким коригують витрату матеріалу на 1 м³ бетону.

Приклад 1

Визначити склад віброваного бетону класу С 12/15 з об'ємною масою не менше ніж 3000 кг/м³; ОК = (1–2) см; тверднення – за нормальних умов.

Матеріали: портландцемент із класом міцності 32,5; крупний заповнювач – щільний магнетитовий щебінь фракції 40 мм, густиною 4,5 кг/дм³, середньою густиною 2,6 кг/дм³, пустотністю 0,422; магнетитовий пісок густиною 4 кг/дм³, середньою густиною 2,5 кг/дм³, пустотністю 0,375.

Визначаємо:

1) В/Ц згідно з формулою (8.1):

$$В/Ц = \frac{0,55 \cdot 400}{20,0 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 400} = \frac{220}{310} = 0,71;$$

$$\text{Ц/В} = 1,41 ;$$

2) витрату води згідно з графіком (рисунок А.4, б) – 225 дм³/м³;

3) витрату цементу:

$$\text{Ц} = 225 : 0,71 = 317 \text{ кг/м}^3 ;$$

4) частку піску в суміші заповнювачів:

$$r = \frac{0,422 \cdot 2,4}{2,6 + 0,422 \cdot 2,4} + 0,1 = \frac{1,008}{2,6 + 1,008} + 0,1 = 0,38;$$

5) густину суміші заповнювачів (П + Щ):

$$\rho_a = 4,5(1 - 0,38) + 4 \cdot 0,38 = 2,79 + 1,52 = 4,31 \text{ кг/дм}^3;$$

6) витрату заповнювачів на 1 м³ бетону:

$$З = \left[1000 - \left(225 + \frac{317}{3,1} \right) \right] \cdot 4,31 = 673 \cdot 4,31 = 2900 \text{ кг/м}^3;$$

7) витрату піску:

$$П = 2900 \cdot 0,38 = 1100 \text{ кг/м}^3;$$

8) витрату щебеню:

$$П = 2900 \cdot 0,62 = 1800 \text{ кг/м}^3;$$

9) теоретичну середню густину бетонної суміші:

$$\rho_{б.с} = 317 + 225 + 1100 + 1800 = 3442 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунковий склад бетону обов'язково уточнюють на пробних замісах за методикою, що викладена у розділі 12 даного стандарту.

Приклад 2

Визначити кількість зв'язаної води в гідратному бетоні з середньою густиною 2600 кг/м³ на лімонітовом заповнювачі та портландцементі із класом міцності 32,5, якщо витрата води 275 дм³/м³ і витрата цементу 350 кг:

1) кількість хімічно зв'язаної води в цементному камені:

$$350 \cdot 0,2 = 70 \text{ дм}^3;$$

2) вміст заповнювачів у бетоні:

$$З = 2600 - (350 + 275) = 1975 \text{ кг/м}^3;$$

3) кількість зв'язаної води в лімоніті, яку приймають як 10 % від його маси:

$$1975 \cdot 0,1 = 197,5 \text{ дм}^3;$$

4) загальна кількість зв'язаної води:

$$В = 70 + 197,5 = 268 \text{ дм}^3.$$

Особливості виконання бетонних робіт полягають у наступному:

– час перемішування бетонної суміші в бетонозмішувачі не повинен бути менше ніж дві хвилини;

– об'єм замісу бетонозмішувача зменшується обернено пропорційно середній густині бетону. Наприклад, при середній густині особливо важкого бетону 3442 кг/м³, а звичайного 2350 кг/м³, об'єм завантаження при об'ємі барабана бетонозмішувача 500 дм³ не повинен перевищувати:

$$\frac{500 \cdot 2350}{3442} = 341 \text{ дм}^3;$$

– ущільнення бетонної суміші повинно виконуватись за допомогою вібрації.

Особливості розрахунку складу самоупрочувальних бетонів

Бетони на самоупрочувальному цементі (самоупрочувальні бетони), що мають щільну непроникну структуру та здатність розширюватися в процесі тверднення, застосовуються для попе-

редньонапружених (самонапружених) конструкцій, самонапружених стиків басейнів, резервуарів, трубопроводів, що виконані зі збірних елементів, з нормованою (розрахунковою) величиною самонапруження.

Для гідроізоляції, компенсації усадочних температурних деформацій з метою виключення або збільшення відстані між температурно-усадочними швами у спорудах, застосовуються самонапружувальні бетони з ненормованою величиною самонапруження.

Самонапружувальний цемент повинен задовольняти вимогам, наведеним в [4]. Заповнювачі – такі ж, як для звичайного важкого бетону. Для поліпшення легкоукладальності можна застосовувати суперпластифікатори.

Розрахунок складу самонапружувального бетону (із ненормованою величиною самонапруження)

Даний розрахунок в основному виконується згідно з формулами, що викладені в розділі 12 даного стандарту, з дотриманням всіх вимог та обмежень В/Ц (Ц/В) так само, як і для звичайного бетону з урахуванням наступних особливостей:

1) кількість води замішування, $\text{дм}^3/\text{м}^3$, збільшують за формулою:

$$V_1 = V + b \cdot \text{НЦ}, \quad (\text{A.19})$$

де V – витрата води, $\text{дм}^3/\text{м}^3$, встановлюють згідно з таблицею 7.6;

b – коефіцієнт, що характеризує додаткову водопотребу НЦ;

НЦ – витрата самонапружувального цементу, $\text{кг}/\text{м}^3$, що визначають згідно з формулою (8.3);

2) значення коефіцієнта b встановлюють в інтервалі (0,03–0,08) в залежності від температури суміші та ступеня уповільнення її тужавлення. Менше значення b (0,03–0,05) приймають за температури навколишнього середовища і суміші близько 15°C та $V/\text{Ц} < 0,3$; більше b (0,06–0,08) – при 30°C та $V/\text{Ц} > 0,3$; при $V/\text{Ц} = 0,3$ приймають середнє значення b (0,04–0,06).

3) подальший розрахунок витрати заповнювачів здійснюють з урахуванням підвищеної витрати води V_1 .

Отриманий склад бетону перевіряють на контрольному замісі та за необхідності коригують, як зазначено в розділі 12 даного стандарту.

Розрахунок складу самонапружувального бетону з нормованою (розрахунковою) величиною самонапруження

Основою даного розрахунку є марка НЦ за самонапруженням $R_{\text{CH}}^{\text{ч}}$ згідно з [4].

Виходячи із заданої марки бетону за самонапруженням f_{cc} , визначають витрату НЦ ($\text{кг}/\text{м}^3$ бетону) за формулою:

$$\text{НЦ} = 550 \left(\frac{f_{\text{cc}}}{R_{\text{CH}}^{\text{ч}}} \right)^2 + 450. \quad (\text{A.20})$$

Примітка 1. Наведена залежність дійсна при витраті НЦ у межах (500–1000) $\text{кг}/\text{м}^3$ та ОК = (1–3) см.

Примітка 2. Для пластичних бетонів з осадкою конуса більше ніж (6–8) см f_{cc} приймається з коефіцієнтом 1,5.

Примітка 3. Марка бетону за самонапруженням характеризується напруженням, яке розвивається у процесі тверднення бетону при пружному обмеженні, яке еквівалентне армуванню $\mu = 0,01$ (1 %).

Витрата води V , необхідна для забезпечення розрахункової рухливості після приготування бетонної суміші, при використанні НЦ із нормальними термінами тужавлення (початок не раніше 30 хв, кінець не пізніше 4 год від початку зачинення НЦ), орієнтовно визначається за формулами:

$$V = 0,20 \cdot \text{Ц} + 100 \text{ (для ОК = (1 – 3) см)}; \quad (\text{A.21})$$

$$V = 0,18 \cdot \text{Ц} + 135 \text{ (для ОК = (6 – 8) см)}. \quad (\text{A.22})$$

При використанні НЦ із більш короткими термінами тужавлення (початок не раніше 2 хв, кінець не пізніше 1 год) витрату води замішування V на 1 м^3 бетону збільшують (в залежності від температури суміші та ступеня уповільнення її тужавлення) на (3–8) % від маси НЦ.

Подальший розрахунок загальної кількості заповнювачів здійснюють за формулами, викладеними у розділі 8 даного стандарту.

Частка піску r , що рекомендована в таблиці 9.5, у самонапружувальних бетонах повинна бути підвищена на (0,01–0,08) і тим більше, чим менше цементу і чим крупніший заповнювач.

Підібраний склад бетону перевіряють на контрольному замісі. Якщо необхідно, коригують з урахуванням встановлених вимог.

Центрифугований бетон

Основні показники за призначенням: клас бетону за міцністю при стиску, марка за морозостійкістю.

Відмінною ознакою таких бетонів є зміна початкового складу суміші в процесі ущільнення.

Значення Ц/В залишкове (після центрифугування) визначається за формулою:

$$\frac{Ц}{V_{oc}} = \frac{f_{cm}}{0,45R_{ц}} + 0,4, \quad (A.23)$$

де V_{oc} – залишковий, після ущільнення центрифугуванням, водовміст бетонної суміші, на першому етапі допускається приймати $V_{oc} = 150 \text{ дм}^3/\text{м}^3$.

В подальшому розрахунок складу центрифугованого бетону здійснюють згідно з загальними формулами. При цьому необхідно враховувати наступне:

- при виборі крупного заповнювача значення D_{max} приймають не більше ніж 0,25 товщини стінки виробу;
- при використанні заповнювача фракцій (5–10) мм і (10–20) мм вміст фракції (5–10) мм повинен становити (25–40) % загального об'єму крупного заповнювача;
- початкову витрату води замішування приймають для забезпечення марки бетонної суміші за легкоукладальністю P1.

Бетон для віброгідропресованих труб

Основні показники за призначенням: клас бетону за міцністю при стиску, марка за водонепроникністю.

Значення Ц/В, залишкове після ущільнення, визначають за формулою:

$$\frac{Ц}{V_{oc}} = \frac{5,1}{1 + \frac{R_{ц}}{f_{cm}}}. \quad (A.24)$$

При цьому значення V_{oc} зазвичай становить (140–150) $\text{дм}^3/\text{м}^3$.

Далі розрахунок складу бетону для віброгідропресованих труб здійснюють згідно з загальними формулами. При цьому необхідно враховувати наступне:

- співвідношення Ц : Щ : П звичайно складає 1 : (2,4...2,1) : (1,6...0,9);
- початковий водовміст суміші підбирається, виходячи з умови одержання суміші жорсткістю (8–10) с (Ж 1).

ДОДАТОК Б
(рекомендований)

**ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ВИБІР СКЛАДУ БЕТОНІВ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МАТЕМАТИЧНО-СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ**

Б.1 Планування експериментів і вибір складу бетонів із застосуванням математично-статистичних методів рекомендується проводити при використанні на заводі або на будівництві декількох складів бетону за класом, показниками легкоукладальності бетонної суміші (наприклад, класи С 16/20, С 25/30 та С 30/35 при рухомості (1–4) см, (5–9) см і (10–15) см) та іншими параметрами; при побудові залежностей, необхідних для коригування складу бетону в процесі його приготування; при організації виробництва за новою технологією, а також у випадку використання автоматичних систем управління технологічним процесом.

Б.2 Суть планування експериментів і вибору складу бетонів із застосуванням математично-статистичних методів полягає у встановленні математичної залежності між заданими властивостями бетону та витратою і властивостями складових матеріалів. Отримані математичні залежності (рівняння регресії, експериментально-статистичні моделі) використовуються для призначення й пошуку оптимальних складів бетону і вирішення рецептурно-технологічних завдань (призначення дозувань добавок, оптимізація параметрів тепловологісної обробки тощо).

Б.3 Побудова математичних залежностей здійснюється на основі обробки результатів спеціальних лабораторних експериментів з наступним уточненням цих залежностей у виробничих умовах.

Б.4 Експерименти проводяться за математичними планами експериментів залежно від числа факторів та умов розв'язуваного завдання.

Б.5 Проведенню планованих експериментів повинні передувати наступні етапи:

- уточнення залежно від конкретного завдання параметрів, які потрібно оптимізувати (клас бетону, задане значення легкоукладальності, спеціальних вимог тощо);
- вибір факторів, що визначають мінливість параметрів, які потрібно оптимізувати;
- розрахунок основного вихідного складу бетонної суміші;
- вибір інтервалів варіювання факторів;
- вибір плану та умов проведення експерименту;
- розрахунок усіх складів бетонної суміші відповідно до обраного плану та реалізація експерименту.

Б.6 У якості факторів, залежно від умов конкретного завдання, можуть призначатися В/Ц (Ц/В) бетонної суміші, витрата води (або цементу), витрата заповнювачів або співвідношення між ними (r), показники легкоукладальності бетонної суміші, показники якості складових матеріалів, витрати добавок тощо.

Б.7 Основний вихідний склад призначається відповідно до вказівок розділів 8–10 даного стандарту.

Б.8 Значення фактору в основному вихідному складі називається основним (середнім або нульовим) його рівнем. При проведенні експериментів, залежно від умов поставленого завдання, всі фактори варіюються на трьох рівнях – середньому (основному), нижньому й верхньому, віддалених від основного на однакову величину, що називається інтервалом варіювання, або на двох рівнях – верхньому та нижньому (лінійний план).

Рекомендовані значення інтервалів варіювання факторів наведені в таблиці Б.1.

Таблиця Б.1

Фактори	Інтервали варіювання
В/Ц суміші	0,1–0,15
Витрата води, дм ³	25–35
Витрата цементу, %	(15–30) від величини основного рівня
Частка піску в суміші заповнювачів, г	0,05–0,1
Витрата крупного заповнювача, кг/м ³	75–100
Витрата добавок, %	(50–70) від величини основного рівня

Б.9 При розрахунках верхній рівень факторів позначається символом (+1), середній – (0), а нижній – (–1), що рівносильно переводу факторів у новий кодований (нормалізований) масштаб:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (\text{Б.1})$$

де x_i – значення i -ого фактора в новому кодованому масштабі;

X_i – значення i -ого фактора в натуральному масштабі;

X_{i0} – основний рівень i -ого фактора;

ΔX_i – інтервал варіювання i -ого фактора.

Часто при записі плану проведення експерименту цифру 1 упускають і кодований запис рівнів фактора має вигляд відповідно: "+", "0" та "-".

Б.10 При розробці складів бетону рекомендується використовувати математичні плани першого чи другого порядку, які наводяться в літературі, наприклад [5], (лінійний план першого порядку і трьохрівневий план другого порядку наведено в таблиці Б.5). Вибір типу планів залежить від технологічного завдання, кількості прийнятих факторів, ресурсів на проведення дослідів, виду залежності, а також математичних характеристик планів.

Б.11 Об'єм замісу для кожної дослідної точки плану встановлюють з урахуванням числа характеристик, що визначаються (міцності на стиск, розтяг, об'єм втягнутого повітря, морозостійкість тощо). Приготування бетонної суміші, формування зразків, випробування суміші та зразків здійснюється відповідно до вказівок розділів 8–10 даного стандарту та положеннями відповідних стандартів.

Б.12 Обробку експериментальних даних (розрахунок математичних залежностей і їх статистичний аналіз), отриманих за планами експерименту, проводять з використанням комп'ютерних програм чи типових табличних алгоритмів для розрахунку на калькуляторах, наведених в літературі, наприклад [5].

Б.13 Результати дослідів за планами експериментів обробляють із використанням методів математичної статистики. Вибір схеми статистичного аналізу і розрахункових формул залежить від типу використаного плану та виду одержуваних рівнянь.

Б.14 Для опису властивостей бетону рекомендується використовувати залежності регресії першого (Б.2) та другого (Б.3) порядку, які мають загальний вигляд:

$$\hat{y}_i = b_0 + \sum_1^k b_i x_i + \sum_1^k b_{ij} x_i x_j ; i \neq j, \quad (\text{Б.2})$$

$$\hat{y}_i = b_0 + \sum_1^k b_i x_i + \sum_1^k b_{ii} x_i^2 + \sum_1^k b_{ij} x_i x_j ; i \neq j, \quad (\text{Б.3})$$

де $i, j = 1, 2, \dots, k$ – порядкові номери факторів;

\hat{y}_i – досліджувана властивість бетону;

x_k – вихідні фактори;
 b_0, b_i, b_{ij}, b_{ij} – коефіцієнти рівнянь.

Б.15 Коефіцієнти рівнянь при використанні планів першого порядку (див. таблицю Б.5) обчислюють за наступними формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^{N_1} y_u}{N_1}; b_i = \frac{\sum_{u=1}^{N_1} x_{iu} y_u}{N_1}; b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^{N_1} x_{iu} x_{ju} y_u}{N_1}, \quad (\text{Б.4-Б.6})$$

де y_u – значення досліджуваної характеристики бетону в u -тому досліді;
 x_{iu} – значення i -ого фактора в u -ому досліді;
 x_{ju} – значення j -ого фактора в u -ому досліді ($i \neq j$);
 N_1 – число дослідів у плані, за винятком дослідів у нульових точках.

Б.16 Для планів другого порядку, залежно від числа факторів k , розрахунок коефіцієнтів рівнянь здійснюють з використанням формул, зокрема для трифакторного трирівневого плану на кубі (див. таблицю Б.5):

$$b_0 = 0,1831[0_y] - 0,0704 \sum_1^k [ijy]; b_i = 0,1[iy]; \quad (\text{Б.7-Б.8})$$

$$b_{ij} = -0,0704 [0_y] + 0,5 [iijy] - 0,1268 \sum_1^k [iijy]; b_{ij} = 0,125 [ijy]; \quad (\text{Б.9-Б.10})$$

Б.17 Після розрахунку рівнянь проводять перевірку відмінності коефіцієнтів b_i від нуля та придатності рівняння для опису досліджуваних залежностей (перевірка адекватності).

Б.18 Для проведення статистичного аналізу рівнянь на експериментальному етапі доцільно провести додаткові дублюючі досліді в нульовій точці (всі фактори на основному рівні).

За результатами дублюючих дослідів визначають:

а) середнє арифметичне значення:

$$\bar{y}_0 = \frac{\sum_{ou=1}^{n_0} y_{ou}}{n_0}, \quad (\text{Б.11})$$

де y_{ou} – значення досліджуваної характеристики бетону у нульовій точці в u -тому досліді;
 n_0 – число дослідів у нульовій точці;

б) дисперсію у нульовій точці:

$$S_y^2 - S_0^2 = \frac{\sum_{ou=1}^{n_0} (\bar{y}_0 - y_{ou})^2}{n_0 - 1}; \quad (\text{Б.12})$$

в) середнє квадратичне відхилення, що характеризує похибку досліді:

$$S_{\bar{y}} = S_0 = \sqrt{S_0^2} = \sqrt{\frac{\sum_{ou=1}^{n_0} (\bar{y}_0 - y_{ou})^2}{n_0 - 1}}; \quad (\text{Б.13})$$

г) середню квадратичну похибку у визначенні коефіцієнтів:

$$S\{b_i\} = \frac{S_{\bar{y}}}{\sqrt{N_1}}. \quad (\text{Б.14})$$

Надалі визначають розрахункове значення t_p -критерію Стьюдента:

$$t_p = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}, \tag{Б.15}$$

та порівнюють отримане значення t_p з табличним t_τ при числі ступенів свободи f_y^- , з котрим визначалась S_y^- ; $f_y^- = n_{0-1}$ (таблиця Б.2).

Таблиця Б.2

Число ступенів свободи $f_y^- = n_{0-1}$	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
Критерій Стьюдента t_τ	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,31	2,23	2,18	2,15	2,12

Якщо $t_p < t_\tau$, то за призначуваного зазвичай рівняння значимості $\alpha = 0,05$ коефіцієнт вважають таким, що дорівнює нулю, а відповідний йому член рівняння відкидають.

Починати перевірку потрібно з найменшого за абсолютним значенням коефіцієнта, тому що у випадку його значимості потреба в перевірці інших відпадає. Після відкидання незначущих членів одержують уточнене рівняння.

Б.19 Для перевірки придатності отриманого рівняння першого порядку обчислюють дисперсію адекватності (або залишкову дисперсію) за формулою:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N_1} (y_u - \hat{y}_u)^2}{N_1 - m}, \tag{Б.16}$$

де y_u – значення досліджуваної властивості бетону в u -ому досліді;
 \hat{y}_u – значення досліджуваної властивості бетону в u -ому досліді, обчислене за уточненим рівнянням.

Визначають розрахункове значення F_p критерія Фішера:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \tag{Б.17}$$

та порівнюють із F^* для тих ступенів свободи, з якими визначалися $S_{2ад}$ і S_{2y} , тобто $f_{ад} = N_1 - m$; $f_y^- = n_{0-1}$ (таблиця Б.3),

де t – число значимих коефіцієнтів, включаючи b_0 .

Рівняння вважається придатним, якщо $F_p < F$.

Таблиця Б.3

f_y^-	Значення F -критерію при $f_{ад}$								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,5	19,5
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9	8,9	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5	4,7	4,5	4,4
6	6	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4	3,8	3,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4	3,9	3,6	3,4	3,2

Кінець таблиці Б.3

$f_{\bar{y}}$	Значення F -критерію при $f_{ад}$								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
10	5	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5

Потрібно брати до уваги, що при обчислюванні F у чисельнику завжди повинна стояти більша дисперсія. Таким чином, якщо $S_{2-y} > S_{2ад}$, то

$$F_p = \frac{S_y^2}{S_{ад}^2}. \quad (Б.18)$$

Б.20 Статистичний аналіз залежностей другого порядку здійснюють за формулами (Б.11)–(Б.13).

Помилку у визначенні коефіцієнтів обчислюють за наступними формулами, зокрема для трьохфакторного рівняння регресії з $k = 3$ при використанні трьохрівневого плану (див. таблицю Б.5):

$$S^2\{b_0\} = 0,1831S_{\bar{y}}^2; \quad S\{b_0\} = 0,4279S_{\bar{y}};$$

$$S^2\{b_i\} = 0,1S_{\bar{y}}^2; \quad S\{b_i\} = 0,3162S_{\bar{y}};$$

$$S^2\{b_{ii}\} = 0,3732S_{\bar{y}}^2; \quad S\{b_{ii}\} = 0,6109S_{\bar{y}}.$$

Далі визначають розрахункові значення t -критерію Стьюдента для кожної групи коефіцієнтів згідно з формулою (Б.15) та порівнюють отримані значення з табличним t_{τ} при числі ступенів свободи $f_{\bar{y}} = n_{0-1}$.

Коефіцієнти при квадратичних членах не слід виключати з рівняння навіть у випадку їх статистичної незначимості (тобто при $t_p < t_{\tau}$).

Дисперсію адекватності обчислюють за формулою:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_u - \bar{y}_u)^2}{N - m - (n_0 - 1)}, \quad (Б.19)$$

де N – загальне число експериментів у плані, включаючи і досліді в нульових точках;

n_0 – число експериментів на нульовому рівні.

Інші позначення відповідають прийнятим у Б.19 даного стандарту.

Розрахункове значення F -критерію Фішера та оцінку придатності рівняння визначають відповідно до правил, що викладені в Б.19, але при числі ступенів свободи $f_{ад} = N - m - (n_{0-1})$.

Б.21 Перед використанням отриманих рівнянь для вирішення поставлених задач коригують коефіцієнт b_0 . Для цього у виробничих умовах готують підряд 10 замісів бетонної суміші.

Із приготовлених сумішей відбирають проби бетону, які випробовують із визначенням властивостей бетону і бетонної суміші за методиками відповідних стандартів. По всім замісам обчислюють середнє арифметичне значення:

$$\bar{y}_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_{10}}{10} = \frac{\sum_{i=1}^{10} y_i}{10}, \quad (Б.20)$$

і середні квадратичні відхилення:

$$S_0 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (y_i - \bar{y}_0)^2}{10 - 1}}, \quad (\text{Б.21})$$

де y_i ($i = 1, 2, \dots, 10$) – показники властивостей бетону в першому, другому, ..., десятому замісах.

Для умов приготування даного складу за відповідними рівняннями обчислюють теоретичні значення показників властивостей бетону \hat{y}_0 .

Потім обчислюють абсолютне значення різниці між \bar{y} та \hat{y}_0 та порівнюють його з величиною $0,753 S_0$.

Якщо $|\bar{y} - \hat{y}_0| \leq 0,753 S_0$, то різниця між \bar{y} та \hat{y}_0 визнається несуттєвою і уточнення коефіцієнта b_0 не проводиться.

У протилежному випадку коефіцієнт b_0 у рівнянні змінюють на величину $\Delta b_0 = \bar{y}_0 - \hat{y}_0$, тобто b_0 збільшують на Δb_0 , якщо ця величина позитивна, та зменшують, якщо вона негативна.

Б.22 Уточнені виробничими експериментами рівняння можуть використовуватися для рішення різних виробничих задач, пов'язаних з коригуванням і оптимізацією складу бетону.

Приклад

Потрібно підібрати склад бетону класів С 25/30 та С 30/35 з міцністю 60–70 % від марочної у віці 3 діб нормального тверднення при введенні до складу бетону добавки-прискорювача тверднення Na_2SO_4 у кількості 3 % від маси цементу та з жорсткістю суміші не більше ніж 30 с за технічним віскозиметром.

Характеристики матеріалів. Портландцемент 32,5 N; НГЦТ = 0,265. Пісок рядовий $M_{кр} = 1,9-2$; $\rho_n = 2,64 \text{ г/см}^3$. Щебінь гранітний фракції (5–20) мм; водопоглинання $W = 0,5 \%$, $\rho_{щ} = 2,62 \text{ г/см}^3$.

В якості змінних обираємо наступні: X_1 – В/Ц суміші; X_2 – частка піску в суміші заповнювачів, г; X_3 – вміст суміші В, $\text{дм}^3/\text{м}^3$.

Інтервали варіювання змінних призначаємо з урахуванням рекомендацій таблиці Б.1.

Значення інтервалів варіювання факторів зведені в таблиці Б.4.

Таблиця Б.4

Код	Значення коду	Значення факторів		
		X_1	X_2	X_3
Основний рівень	0	0,4	0,4	180
Інтервал варіювання	ΔX_i	0,05	0,05	10
Верхній рівень	+	0,45	0,45	190
Нижній рівень	–	0,35	0,35	170

Оскільки ставиться задача визначення характеристик міцності у порівняно вузькому діапазоні зміни перемінних, приймаємо для реалізації лінійний план для $k = 3$, а для визначення жорсткості – трьохрівневий нелінійний план для $k = 3$ (див. таблицю Б.5).

Таблиця Б.5

№ досліду		Кодовані значення перемінних			Натуральні значення перемінних		
Двохрівневий план	Трьохрівневий план	x_1	x_2	x_3	$X_1 - В/Ц$	$X_2 - r$	$X_3 - B, \text{ дм}^3/\text{м}^3$
1	1	+1	+1	+1	0,45	0,45	190
2	2	-1	+1	+1	0,35	0,45	190
3	3	+1	-1	+1	0,45	0,35	190
4	4	-1	-1	+1	0,35	0,35	190
5	5	+1	+1	-1	0,45	0,45	170
6	6	-1	+1	-1	0,35	0,45	170
7	7	+1	-1	-1	0,45	0,35	170
8	8	-1	-1	-1	0,35	0,35	170
-	9	+1	0	0	0,45	0,4	180
-	10	-1	0	0	0,35	0,4	180
-	11	0	+1	0	0,4	0,45	180
-	12	0	-1	0	0,4	0,35	180
-	13	0	0	+1	0,4	0,4	190
-	14	0	0	-1	0,4	0,4	170
9	15	0	0	0	0,4	0,4	180
10	16	0	0	0	0,4	0,4	180
11	17	0	0	0	0,4	0,4	180

Окрім кодового запису плану експерименту, складаємо паралельну таблицю натуральних значень перемінних у кожному досліді.

Визначення жорсткості суміші проводимо за допомогою технічного віскозиметра, а міцності бетону випробуванням кубів 10 см × 10 см × 10 см у віці (3–28) діб нормального тверднення. Об'єм одного замісу 7 дм³ – тобто в кожному досліді виготовляємо 6 зразків-кубів.

При проведенні замісів, досліди (відповідно до рекомендацій Б.18 даного стандарту) розбивають на групи таким чином, щоб досліди в нульовій точці були рівномірно розподілені між іншими.

Результати визначень міцності заносяться до таблиці Б.6.

За формулами (Б.4)–(Б.6) розраховують коефіцієнт відповідних рівнянь міцності.

Знак перед числовим значенням міцності визначається відповідним рядком таблиці Б.6. Так, наприклад, при обчисленні коефіцієнта b_1 множимо значення міцності f_{ck} (рядок 9) на відповідні значення x_1 (рядок 2); коефіцієнта b_2 – множимо f_{ck} на відповідні значення x_2 (рядок 3); коефіцієнта b_{12} – множимо f_{ck} на відповідні значення x_{12} тощо.

Таблиця Б.6

№ досліду	План експерименту			Взаємодія			Міцність бетону, МПа		$f_{cm3}/f_{cm28}, \%$	$f_{cm3} \cdot x$					
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	f_{cm3}	f_{cm28}		x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	+	+	+	+	+	+	16,6	30,2	55	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6
2	-	+	+	-	-	+	28	39,1	72	-28	28	28	-28	-28	28
3	+	-	+	-	+	-	16,6	35,3	47	16,6	-16,6	16,6	-16,6	16,6	-16,6

Кінець таблиці Б.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4	-	-	+	+	-	-	31,1	42,5	73	-31,1	-31,1	31,1	31,1	-31,1	-31,1
5	+	+	-	+	-	-	15,1	28,1	54	15,1	15,1	-15,1	15,1	-15,1	-15,1
6	-	+	-	-	+	-	27,9	47,2	59	-27,9	27,9	-27,9	-27,9	27,9	-27,9
7	+	-	-	-	-	+	22,5	34	66	22,5	-22,5	-22,5	-22,5	-22,5	22,5
8	-	-	-	+	+	+	26,9	44,7	60	-26,9	-26,9	-26,9	26,9	26,9	26,9
9	0	0	0	0	0	0	22,3	36,3	62	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	23,5	37,5	63	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	22,8	38,1	60	0	0	0	0	0	0
									Σ	-43,1	-9,5	-0,1	-5,3	-8,7	3,3
№ дос- лідів	$f_{cm28} \cdot x$						$(f_{cm3}/ f_{cm28}) \cdot x$								
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3			
1	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	55	55	55	55	55	55			
2	-39,1	39,1	39,1	-39,1	-39,1	39,1	-72	72	72	-72	-72	72			
3	35,3	-35,3	35,3	-35,3	35,3	-35,3	47	-47	47	-47	47	-47			
4	42,5	-42,5	42,5	42,5	-42,5	-42,5	-73	-73	73	73	-73	-73			
5	28,1	28,1	-28,1	28,1	-28,1	-28,1	54	54	-54	54	-54	-54			
6	-47,2	47,2	-47,2	-47,2	47,2	-47,2	-59	59	-59	-59	59	-59			
7	34	-34	-34	-34	-34	34	66	-66	-66	-66	-66	66			
8	-44,7	-44,7	-44,7	44,7	44,7	44,7	-60	-60	-60	60	60	60			
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Σ	-45,9	-11,9	-6,9	-10,1	13,7	-5,1	-42	-6	8	-2	-44	20			

Наприклад, для f_{ck} маємо:

$$b_0 = \frac{30,2 + 39,1 + 35,3 + 42,5 + 28,1 + 47,2 + 34 + 44,7}{8} = \frac{301,1}{8} = 37,6;$$

$$b_1 = \frac{30,2 - 39,1 + 35,3 - 42,5 + 28,1 - 47,2 + 34 - 44,7}{8} = -\frac{45,9}{8} = -5,7;$$

$$b_2 = \frac{30,2 + 39,1 - 35,3 - 42,5 + 28,1 + 47,2 - 34 - 44,7}{8} = -\frac{11,9}{8} = -1,5;$$

$$b_3 = \frac{30,2 + 39,1 + 35,3 + 42,5 - 28,1 - 47,2 - 34 - 44,7}{8} = -\frac{6,9}{8} = -0,86;$$

$$b_{12} = \frac{30,2 - 39,1 - 35,3 + 42,5 + 28,1 - 47,2 - 34 + 44,7}{8} = -\frac{10,1}{8} = -1,26;$$

$$b_{13} = \frac{30,2 - 39,1 + 35,3 - 42,5 - 28,1 + 47,2 - 34 + 44,7}{8} = \frac{13,7}{8} = 1,71;$$

$$b_{23} = \frac{30,2 + 39,1 - 35,3 - 42,5 - 28,1 - 47,2 + 34 + 44,7}{8} = -\frac{5,1}{8} = -0,64.$$

План дослідів та результати визначення жорсткості суміші заносимо до таблиці Б.7.

Таблиця Б.7

№ дос-ліду	План експери-менту (x_i)			Квадрат змінних (x_{2i})			Взаємодія ($x_i x_j$)			y_u	\hat{y}_p	Δ	Δ_2	Ж, с (x_i)			Квадрат змінних Ж, с (x_i) ²			Взаємодія Ж, с ($x_i x_j$)		
	x_1	x_2	x_3	x_{21}	x_{22}	x_{23}	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	Ж, с	Ж, с	$y_u - \hat{y}_p$	$(y_u - \hat{y}_p)^2$	$x_1 y_u$	$x_2 y_u$	$x_3 y_u$	$x_{21} y_u$	$x_{22} y_u$	$x_{23} y_u$	$x_1 x_2 y_u$	$x_1 x_3 y_u$	$x_2 x_3 y_u$
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	18	16,5	1,5	2,25	18	18	18	18	18	18	18	18	18
2	-	+	+	+	+	+	-	-	+	30	28,5	1,5	2,25	-30	30	30	30	30	30	-30	-30	30
3	+	-	+	+	+	+	-	+	-	16	19,5	3,5	12,25	16	-16	16	16	16	16	-16	16	-16
4	-	-	+	+	+	+	+	-	-	26	25,5	0,5	0,25	-26	-26	26	26	26	26	26	-26	-26
5	+	+	-	+	+	+	+	-	-	47	46,5	0,5	0,25	47	47	-47	47	47	47	47	-47	-47
6	-	+	-	+	+	+	-	+	-	58	58,5	0,5	0,25	-58	58	-58	58	58	58	-58	58	-58
7	+	-	-	+	+	+	-	-	+	53	49,5	3,5	12,25	53	-53	-53	53	53	53	-53	-53	53
8	-	-	-	+	+	+	+	+	+	54	55,5	1,5	2,25	-54	-53	-54	54	54	54	54	54	54
9	+	0	0	+	0	0	0	0	0	23	23	-	-	23	-	-	23	-	-	-	-	-
10	-	0	0	+	0	0	0	0	0	35	32	3	9	-35	-	-	35	-	-	-	-	-
11	0	+	0	0	+	0	0	0	0	26	24,5	1,5	2,25	-	26	-	-	26	-	-	-	-
12	0	-	0	0	+	0	0	0	0	26	24,5	1,5	2,25	-	-26	-	-	26	-	-	-	-
13	0	0	+	0	0	+	0	0	0	11	8,5	2,5	6,25	-	-	11	-	-	11	-	-	-
14	0	0	-	0	0	+	0	0	0	39	38,5	0,5	0,25	-	-	-39	-	-	39	-	-	-
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	19	8	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	19	4	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	19	3	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
										$\Sigma = 534$	508		$\Sigma \Delta_2 = 141$	$\Sigma = -46$	4	-150	360	354	352	-12	-10	8

Розрахунок коефіцієнтів рівняння жорсткості проводимо за співвідношеннями (Б.7)–(Б.10). Для цього знаходимо відповідні суми з таблиці Б.7:

$$[0y] = \sum_1^N y_u = 534 ;$$

$$[1y] = \sum_1^N x_{1u} y_u = -46; [2y] = \sum_1^N x_{2u} y_u = 4; [3y] = \sum_1^N x_{3u} y_u = -150;$$

$$[11y] = \sum_1^N x_{1u}^2 y_u = 360; [22y] = \sum_1^N x_{2u}^2 y_u = 354; [33y] = \sum_1^N x_{3u}^2 y_u = 352;$$

$$\sum [i_j y] = [11y] + [22y] + [33y] = 1066 \quad [12y] = \sum_1^N x_{1u} x_{2u} y_u = -12; [13y] = \sum_1^N x_{1u} x_{3u} y_u = -10;$$

$$[23y] = \sum_1^N x_{2u} x_{3u} y_u = 8.$$

Підставляючи отримані проміжні значення сум у співвідношення (Б.7)–(Б.10), отримуємо:

$$b_0 = 0,1831 \cdot 534 - 0,0704 \cdot 1066 = 97,8 - 75 = 22,8 \approx 23 ;$$

$$b_1 = 0,1 \cdot (-46) = -4,6 ; b_2 = 0,1 \cdot 4 = -0,4 ; b_3 = 0,1 \cdot (-150) = -15 ;$$

$$b_{11} = 0,0704 \cdot 534 + 0,5 \cdot 360 - 0,1268 \cdot 1066 = -37,6 + 180 - 135 = 7,4 ;$$

$$b_{22} = 0,0704 \cdot 534 + 0,5 \cdot 354 - 0,1268 \cdot 1066 = -37,6 + 177 - 135 = 4,4 ;$$

$$b_{33} = 0,0704 \cdot 534 + 0,5 \cdot 352 - 0,1268 \cdot 1066 = -37,6 + 176 - 135 = 3,4 ;$$

$$b_{12} = 0,125 \cdot (-12) = -1,5 ; b_{13} = 0,125 \cdot (-10) = -1,25 ; b_{23} = 0,125 \cdot 8 = 1.$$

Значення коефіцієнтів всіх рівнянь заносимо до таблиці Б.8.

Таблиця Б.8

Параметр	Коефіцієнти рівнянь									
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}
f_{cm3}	231	-54	-12	-0,125 ^{*)}	-	-	-	-6,5 ^{*)}	-11	4 ^{*)}
f_{cm28}	376	-57	-15	-8,6 ^{*)}	-	-	-	-12,5	17,1	-6,5 ^{*)}
f_{cm3}/f_{cm28}	61	-5,25	-1 ^{*)}	1 ^{*)}	-	-	-	-0,25 ^{*)}	-5,5	2,5
Ж	22,8	-4,6	0,4 ^{*)}	-15	7,4	4,4	3,4	-1,5 ^{*)}	-1,25 ^{*)}	1 ^{*)}

^{*)} Незначимі коефіцієнти.

Згідно із вказівками Б.18 даного стандарту, проводимо статистичну перевірку значимості коефіцієнтів та придатності отриманих рівнянь для описування досліджуваних залежностей.

Для цього за результатами досліджень у нульовій точці (основній) згідно з формулами (Б.11) та (Б.14) визначаємо:

– середньоарифметичне значення параметра – y_0 ;

– дисперсію у нульовій точці – $S_0^2 = S_{y0}^2$;

– середнє квадратичне відхилення $S_{y0} = S_0$ та середню квадратичну похибку у визначенні коефіцієнтів $S\{b_i\}$.

Наприклад, для f_{ck} маємо:

$$\bar{y}_0 = \frac{363 + 375 + 381}{3} = 373;$$

$$S_0^2 = S_{y_0}^2 = \frac{(373 - 363)^2 + (373 - 375)^2 + (373 - 381)^2}{(3 - 1)} = \frac{100 + 4 + 64}{2} = 84;$$

$$S_0 = S_{\bar{y}} = \sqrt{84} = 9,16;$$

$$S\{b_i\} = \frac{9,16}{\sqrt{8}} = 3,24.$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Б.9.

Таблиця Б.9

Параметр	y_0	$S_{\bar{y}}^2 = S_0^2$	$S_{\bar{y}} = S_0$	$S\{b_i\}$
f_{cm3}	229	36	6	2,14
f_{cm28}	373	84	9,16	3,24
f_{cm3}/f_{cm28}	62	2,5	1,6	0,56

Знаходимо розрахункове значення t -критерія Стюдента за формулою (Б.15) та встановлюємо значимість коефіцієнтів рівнянь для визначення f_{cm28} , f_{cm3} та f_{cm3}/f_{cm28} . Перевірку проводимо починаючи з самого малого коефіцієнта.

Для f_{cm28} маємо:

$$t_p(b_{23}) = \frac{|-6,5|}{3,24} = 2,006 \text{ і порівнюємо}$$

з t_τ з таблиці Б.2 при $f_y = n_0 - 1 = 2$; $t_\tau = 4,3$.

$t_p(b_{23}) < t_\tau$ – коефіцієнт незначимий. Потім:

$$t_p(b_3) = \frac{|-8,6|}{3,24} = 2,62 \text{ – коефіцієнт незначимий;}$$

$$t_p(b_{12}) = \frac{|-12,5|}{3,24} = 3,858 \text{ – те саме;}$$

$$t_p(b_2) = \frac{|-15|}{3,24} = 4,63 \text{ – коефіцієнт значимий.}$$

Відповідно, значимі і всі інші коефіцієнти.

Аналогічну оцінку коефіцієнтів встановлюємо для f_{cm3} і f_{cm3}/f_{cm28} . Незначимі коефіцієнти відмічаємо зірочкою у таблиці Б.8 і порівнюємо до нуля.

Для рівняння жорсткості суміші маємо наступні оцінки:

$$\bar{y}_0 = \frac{27 + 23 + 22}{3} = 24;$$

$$S_0^2 = S_{y_0}^2 = \frac{(27 - 24)^2 + (23 - 24)^2 + (22 - 24)^2}{(3 - 1)} = \frac{9 + 1 + 4}{2} = 7;$$

$$S_0 = S_{\bar{y}} = \sqrt{7} = 2,646.$$

Використовуючи відношення, приведені в пункті Б.20 даного стандарту, вираховуємо помилки у визначенні коефіцієнтів рівняння:

$$S\{b_0\} = 0,42792 \cdot S_{\bar{y}} = 0,4279 \cdot 2,646 = 1,134;$$

$$S\{b_1\} = 0,3162 \cdot S_{\bar{y}} = 0,3162 \cdot 2,646 = 0,838 ;$$

$$S\{b_{ii}\} = 0,6109 \cdot S_{\bar{y}} = 0,6109 \cdot 2,646 = 1,618 ;$$

$$S\{b_{ij}\} = 0,3536 \cdot S_{\bar{y}} = 0,3536 \cdot 2,646 = 0,937 .$$

Визначаємо значимість коефіцієнтів, порівнюючи t_p з $t_\tau = 2,12$ ($f = 17$ згідно з таблицею Б.2):

а) для b_0 $t_p = \frac{|22,8|}{1,134} = 20,10 > t_\tau$ – коефіцієнт значимий;

для b_2 $t_p = \frac{|-0,4|}{0,838} = 0,477 < t_\tau$ – коефіцієнт незначимий;

для b_1 $t_p = \frac{|-0,4|}{0,838} = 5,49 < t_\tau$ – коефіцієнт значимий;

відповідно, значимий і коефіцієнт $b_3 = -15$;

б) для b_{33} $t_p = \frac{|3,4|}{1,618} = 2,10 < 2,12$ – коефіцієнт незначимий;

для b_{22} $t_p = \frac{|4,4|}{1,618} = 2,72$ – коефіцієнт значимий;

відповідно, значимий і коефіцієнт $b_{11} = 7,4$;

в) для b_{12} $t_p = \frac{|-1,5|}{0,937} = 1,6 < 2,12$ – незначимий,

відповідно, незначимі всі парні взаємодії.

Остаточні уточнені коефіцієнти, наведені у таблиці Б.10.

Таблиця Б.10

Параметри	Значення коефіцієнтів										
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}	m
f_{cm3}	231	-54	-12	0	-	-	-	0	-11	0	4
f_{cm28}	376	-57	-15	0	-	-	-	0	17	0	4
$(f_{cm3}/f_{cm28}) \cdot 100$	61	-5	0	0	-	-	-	0	-5,5	2,5	4
Ж	23	-4,5	0	-15	7,4	4,4	3,4	-1,5	0	0	7

У таблиці значення коефіцієнтів прийняті з точністю до 0,5.

Отримані рівняння міцності і жорсткості мають вигляд:

$$\hat{S} = 231 - 54 \cdot x_1 - 12 \cdot x_2 - 11 \cdot x_1 \cdot x_3 ;$$

$$\hat{S}_{28} = 376 - 57 \cdot x_1 - 15 \cdot x_2 - 17 \cdot x_1 \cdot x_3 ;$$

$$\hat{S}_{3/28} = 61 - 5 \cdot x_1 - 5,5 \cdot x_2 - 1 \cdot x_3 + 2,5 \cdot x_2 \cdot x_3 ;$$

$$\hat{S}_{ж} = 23 - 4,5 \cdot x_1 - 15 \cdot x_3 + 7,4 \cdot x_1^2 + 4,4 \cdot x_2^2 + 3,4 \cdot x_3^2 - 1,5 \cdot x_1 \cdot x_2 .$$

Проводимо перевірку придатності уточнених рівнянь згідно з формулами (Б.19) та (Б.17). Для вирахування дисперсії адекватності $S_{ад}^2$ (або остаточної дисперсії) складаємо допоміжну таблицю для кожного параметра. В кожному рядку цієї таблиці у чисельнику представлені кодовані значення змінних у відповідності з матрицею планування, а у знаменнику наведені значення, отримані множенням коефіцієнтів на відповідні кодовані значення змінної.

Приклад розрахунку $S_{ад}^2$ для параметра f_{cm28} наведений у таблиці Б.11 і далі за текстом.

Таблиця Б.11

№ досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	\hat{y}	$y_э$	$ \Delta $	Δ_2
1	37,6	+	+	+	+	+	+	32,1	30,2	19	361
		-57	-15	0	0	17,1	0				
2	37,6	-	+	+	-	-	+	40,1	39,1	10	100
		57	-15	0	0	-17,1	0				
3	37,6	+	-	+	-	+	-	35,1	35,3	2	4
		-57	+15	0	0	17,1	0				
4	37,6	-	-	+	+	-	-	43,1	42,5	6	36
		57	15	0	0	-17,1	0				
5	37,6	+	+	-	+	-	-	28,7	28,1	6	36
		-57	-15	0	0	-17,1	0				
6	37,6	-	+	-	-	+	-	43,5	47,2	37	1369
		57	-15	0	0	17,1	0				
7	37,6	+	-	-	-	-	+	31,7	34,0	23	529
		-57	15	0	0	-17,1	0				
8	37,6	-	-	-	+	+	+	46,5	44,7	18	324
		57	15	0	0	17,1	0				

Стовпчик \hat{y} позначає розрахункове значення f_{ck} за уточненим рівнянням (див. таблицю Б.8); в стовпчику $y_э$ наведені значення f_{ck} , отримані в результаті випробування дослідних зразків (див. таблицю Б.6, рядок 9):

$$\Delta = \hat{y} - y_э, \text{ а } \Delta_2 = (\hat{y} - y_э)^2.$$

Далі визначаємо дисперсію адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum \Delta_2}{f_{ад}} = \frac{2759}{4} = 689,75.$$

У нашому прикладі:

$$N_1 = 8, n_0 = 3; m = 4, f_{ад} = N_1 - m = 8 - 4 = 4 \text{ і } f_y = n_0 - 1 = 3 - 1 = 2.$$

Визначаємо розрахункове значення F_p – коефіцієнта Фішера, враховуючи, що $S_{ад}^2 > S_y^2$ (див. формули (Б.16), (Б.17) і таблицю Б.3):

$$F_p = \frac{689,75}{84} = 8,21.$$

Згідно з таблицею Б.3 при $S_{ад} = 4$ і $f_y = 2$:

$F_T = 19,3$, тобто $F_p < F_T$, і рівняння міцності f_{ck} підходить для опису початкової залежності у досліджуваних границях зміни факторів.

Отже, вирішуємо поставлену задачу.

Першим обмеженням є забезпечення жорсткості бетонної суміші, яка не повинна бути вище 30 с.

З аналізу рівняння жорсткості випливає, що за інших рівних умов з мінімальною жорсткістю буде суміш, в якій частина піску приблизно дорівнює 0,4 ($x_2 \sim 0$). Приймаємо $x_2 = 0$ і підставляючи це значення в рівняння, отримаємо:

$$Ж = 23 - 4,5 \cdot x_1 - 15 \cdot x_3 + 7,4 \cdot x_1^2 + 3,4 \cdot x_3^2 .$$

Визначаємо граничне значення факторів x_1 та x_3 , що забезпечують значення жорсткості суміші не більше ніж 30 с:

а) при $x_1 = -1$ (В/Ц) = 0,35;

$$Ж = 23 + 4,5 + 7,4 - 15 \cdot x_3 + 3,4 \cdot x_3^2 = 35 - 15 \cdot x_3 + 3,4 \cdot x_3^2 .$$

Підставляючи задане значення $Ж = 30$ с, отримуємо квадратне рівняння:

$$30 = 35 - 15 \cdot x_3 + 3,4 \cdot x_3^2$$

або

$$3,4 \cdot x_3^2 - 15 \cdot x_3 + 5 = 0 ;$$

$$x_3 = \frac{+15 \pm \sqrt{225 - 68}}{6,8} = \frac{15 \pm 12,53}{6,8} = 0,364 \text{ і } 4,05;$$

$$x_3 \geq 0,364.$$

Друге значення $x_3 = 4,05$ знаходиться за межею експерименту і не враховується.

Відповідно, з умови отримання жорсткості не більше ніж 30 с, x_3 повинно знаходитися у інтервалі 0,364 – 1 або в натуральних значеннях:

$$B_1 = x_0 + x_3 \Delta X = 180 + 0,364 \cdot 10 \approx 184 \text{ дм}^3/\text{м}^3 ;$$

$$B_2 = x_0 + x_3 \Delta X = 180 + 1 \cdot 10 \approx 190 \text{ дм}^3/\text{м}^3 ,$$

$$\text{тобто } B = 184 \text{ дм}^3/\text{м}^3 - 190 \text{ дм}^3/\text{м}^3 .$$

Всі наступні значення В/Ц ($x_1 = -0,5; 0; +0,5; +1$) дають близькі значення x_3 , тобто близькі витрати води:

б) при $x_1 = -0,5$ (В/Ц = 0,375)

$$x_3 \geq -0,177; B = 178 \text{ дм}^3/\text{м}^3 - 190 \text{ дм}^3/\text{м}^3 ;$$

в) при $x_1 = 0$ (В/Ц = 0,4)

$$x_3 \geq -0,427; B = 176 \text{ дм}^3/\text{м}^3 - 190 \text{ дм}^3/\text{м}^3 ;$$

г) при $x_1 = +0,5$ (В/Ц = 0,425)

$$x_3 \geq -0,456; B = 175,4 \text{ дм}^3/\text{м}^3 - 190 \text{ дм}^3/\text{м}^3 ;$$

д) при $x_1 = +1$ (В/Ц = 0,45)

$$x_3 \geq -0,25; B = 178 \text{ дм}^3/\text{м}^3 - 190 \text{ дм}^3/\text{м}^3 .$$

Для розглянутих випадків визначають умови отримання максимальної ранньої міцності бетону (f_{cm3} / f_{cm28} макс):

а) для $x_1 = -1$ і $x_2 = 0$ (В/Ц = 0,35 і $r = 0,4$)

$$f_{cm3} / f_{cm28} \cdot 100 = 61 + 5 + 5,5 \cdot x_3 = 66 + 5,5 \cdot x_3 \text{ і } f_{cm3} / f_{cm28} \text{ макс. досягається при } x_3 = +1.$$

Звідси $f_{cm3} / f_{cm28} \cdot 100 = 71,5 \%$,

при цьому:

$$Ж = 23 + 4,5 - 15 + 7,4 + 3,4 = 23,3 \text{ с} < 30 \text{ с};$$

$$f_{ck} = 37,6 + 5,7 - 1,7 = 41,6 \text{ МПа};$$

б) для $x_1 = 0$ і $x_2 = 0$ ($B/C = 0,4$ і $r = 0,4$)

$f_{cm3}/f_{cm28} \cdot 100 = 61\%$ і $Ж < 30$ с досягається при значенні $x_3 \geq -0,427$ і $B = 176 \text{ дм}^3/\text{м}^3$, при цьому $f_{ck} = 37,6 \text{ МПа}$;

в) для $x_1 = +1$ і $x_2 = 0$ ($B/C = 0,45$ і $r = 0,4$)

$$f_{cm3}/f_{cm28} \cdot 100 = 61 - 5 - 5,5 \cdot x_3 = 56 - 5,5 \cdot x_3;$$

$$\text{при } x_3 = -0,41$$

$$f_{cm3}/f_{cm28} \cdot 100 = 58,25\%;$$

$$f_{ck} = 37,6 - 5,7 - 0,7 = 31,2 \text{ МПа}.$$

Таким чином, маємо:

для бетону класу С 25/30 з ранньою міцністю 70 % марочної

$$x_1 = -1; B/C = 0,35;$$

$$x_2 = 0; r = 0,4;$$

$$x_3 = +1; B = 190 \text{ дм}^3/\text{м}^3; Ж \leq 30 \text{ с};$$

для бетону класу С 16/20 з ранньою міцністю, що складає 60 % марочної:

$$x_1 = +1; B/C = 0,45;$$

$$x_2 = 0; r = 0,4;$$

$$x_3 = -0,4; B = 176 \text{ дм}^3/\text{м}^3; Ж \leq 30 \text{ с}.$$

Так само виконуються розрахунки для інших параметрів.

Розрахунок адекватності для рівняння жорсткості наведений згідно з даними таблиці Б.7:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum \Delta^2}{f_{ад}} = \frac{141}{17 - 7(3 - 1)} = \frac{141}{8} = 17,63;$$

$$F_p = \frac{17,63}{7} = 2,52 \ll 19,3 \text{ (згідно з таблицею Б.5 для } f_{ад} = 8 \text{ і } f_y = 2).$$

Принятий склад бетону перевіряють дослідним замісом і коригують для виробничого застосування з врахуванням вологості заповнювачів.

ДОДАТОК В
(довідковий)

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ КЛАСАМИ І ХАРАКТЕРИСТИКАМИ БЕТОНУ
ЗА МІЦНІСТЮ НА СТИСК І РОЗТЯГ

Таблиця В.1

Клас бетону				Характеристичне значення міцності бетону на осьовий розтяг $f_{ctk,0,05}$, МПа	Необхідна міцність бетону при підборі складу, МПа	
згідно з ДСТУ Б В.2.7-43	згідно з цим стандартом				на стиск при випробуванні кубів, f_{cm}	на розтяг, f_{ct}
	познака	характеристики міцності бетону, МПа				
		$f_{ck.cyl}$	$f_{ck.cube}$			
В10	С 8/10	8	10	0,8	13	1,2
В15	С 12/15	12	15	1,1	19	1,6
В20	С 16/20	16	20	1,3	25	1,9
В25	С 20/25	20	25	1,5	32	2,2
В30	С 25/30	25	30	1,8	38	2,6
В35	С 30/35	30	35	2,0	45	2,8
В40	С 32/40	32	40	2,1	51	3,0
В45	С 35/45	35	45	2,2	58	3,2
В50	С 40/50	40	50	2,5	64	3,5
В55	С 45/55	45	55	2,7	71	3,8
В60	С 50/60	50	60	3,0	77	4,1

Примітка. Необхідна міцність бетону на стиск, при випробуванні кубів f_{cm} , МПа, визначена при коефіцієнті варіації 13,5 %, при інших коефіцієнтах варіації вираховується за наступною залежністю:

$$f_{cm} = f_{ck.cube} / (1 - 1,64 \cdot C_v),$$

де C_v – коефіцієнт варіації в долях одиниці.

ДОДАТОК Г
(обов'язковий)

ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОПОТРЕБИ ЗАПОВНЮВАЧІВ У БЕТОННІЙ СУМІШІ

Водопотребу заповнювачів визначають виходячи з умови "рівнорухливості" бетонної суміші. Для цього виконують наступні операції:

1) готують стандартний розчин складу 1 : 2 (300 г цементу та 600 г стандартного кварцового піску, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-189, з водопотребою 4 %). Суміш спочатку перемішують у сухому вигляді протягом однієї хвилини, потім п'ять хвилин з водою, таким чином, щоб розплив стандартного конуса, що визначають на струшувальному столику, дорівнював 170 мм (за методикою, що викладена в ДСТУ Б В.2.7-187) та визначають $(В/Ц)_{ср}$;

2) підбирають $(В/Ц)_р$, при якому розчин складу 1 : 2 на досліджуваному піску має такий самий розплив конуса (170 мм);

3) встановлюють осадку конуса (або жорсткість) розчину складу 1 : 2 на досліджуваному піску при $(В/Ц)_р$, визначеному раніше на струшуючому столику. Для цього зважують 5 кг цементу та 10 кг піску та перемішують їх спочатку одну хвилину в сухому стані, а потім п'ять хвилин з водою, кількість якої приймають відповідно до $(В/Ц)_р$. Після цього визначають рухомість розчину стандартними методами;

4) підбирають $(В/Ц)_б$, при якому досягається така ж осадка конуса (жорсткість) бетонної суміші складу 1 : 2 : 3,5, тобто отримують бетонну суміш нормальної густоти. Для цього зважують 2,5 кг цементу, 5 кг піску та 8,75 кг щебеню (гравію), перемішують їх протягом однієї хвилини у сухому стані та п'ять хвилин з водою, а потім визначають рухомість бетонної суміші стандартними методами.

Водопотребу досліджуваних заповнювачів у відсотках обчислюють за формулами:

$$V_n = \frac{\left(\frac{В}{Ц}\right)_р - \left(\frac{В}{Ц}\right)_{ср}}{2} \cdot 100 + 4; \quad (Г.1)$$

$$V_{щ} = \frac{\left(\frac{В}{Ц}\right)_б - \left(\frac{В}{Ц}\right)_р}{3,5} = 100, \quad (Г.2)$$

де $(В/Ц)_р$, $(В/Ц)_{ср}$ та $(В/Ц)_б$ – водоцементне відношення відповідно розчину на досліджуваному піску, стандартного розчину та бетону;

V_n та $V_{щ}$ – водопотреба відповідно піску та крупного заповнювача.

ДОДАТОК Д
(довідковий)

**СПІВСТАВЛЕННЯ ВИМОГ ДСТУ Б В.2.7-46:2010
ТА ДСТУ Б EN 197-1:2008 ДО ЦЕМЕНТІВ**

Умовна позначка за ДСТУ Б В.2.7-46	Типи і види звичайних цементів за ДСТУ Б EN 197-1	Відповідність
ПЦ I	CEM I	відповідає
ПЦ II/A-Ш	CEM II/A-S	відповідає
ПЦ II/B-Ш	CEM II/B-S	відповідає
ПЦ II/A-П	CEM II/A-P	відповідає
ПЦ II/A-З	CEM II/A-V	відповідає
ПЦ II/A-В	CEM II/A-L	відповідає
ПЦ II/A-К	CEM II/A-M	відповідає
ПЦ II/B-К	CEM II/B-M	відповідає
ШПЦ III/A	CEM III/A	відповідає
ШПЦ III/B	CEM III/B	відповідає
ШПЦ III/В	CEM III/C	відповідає
ШПЦ IV/A	CEM IV/A	жорсткіші вимоги ДСТУ Б В.2.7-46 (дозволяється введення більшої кількості портландцементного клінкеру за однакової мінімальної кількості)
ПЦЦ IV/Б	CEM IV/B	відповідає
КЦ V/A	CEM V/A	відповідає
КЦ V/Б	CEM V/B	відповідає

ДОДАТОК Е
(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006-86), М., ЦИТП, 1990 (Рекомендації з підбору складу важких і дрібнозернистих бетонів).
- 2 Болотских О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний бетона, Первое издание 2010, Харьков, 144 с. (Європейські методи фізико-механічних випробувань бетону).
- 3 Дворкин О.Л. Многопараметрическое проектирование составов бетонов: Монография: – Ровно: Издательство РДТУ, 2001. – 121 с. (Багатопараметричне проектування складів бетонів).
- 4 ТУ 21-20-18-74 МПСМ СССР. Технические условия на напрягающий цемент с малой энергией самонапряжения (НЦ-20). (Технічні умови на напружуючий цемент з малою енергією самонапруження).
- 5 Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях, М., Статистика, 1974, 192 с. (Статистичні методи планування експерименту у техніко-економічних випробуваннях).
- 6 Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Горячих М.В., Шмигальський В.Н. Проектування і аналіз ефективності складів бетону, НУВГП, Рівне, 2009, 173 с.
- 7 ВБН 234 Украины 536-93 Инструкция по применению золошлаковых отходов ТЭС Украины в производстве тяжелых бетонов и конструкций. (Інструкція щодо застосування золошлакових відходів ТЕС України у виробництві важких бетонів і конструкцій).

Код УКНД 91.100.30

Ключові слова: цемент, важкий бетон, підбір складу бетону, активність цементу, клас бетону, активні мінеральні і хімічні добавки, міцність, легкоукладальність.