



Получена: 01.04.2020 г.

Приета: 19.04.2020 г.

ПРОЕКТИРАНЕ НА СЪСТАВА НА БЕТОНА – КРИТИЧЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДА НА ПЛЪТНИТЕ ОБЕМИ, КАТО ЧАСТ ОТ УЧЕБНАТА ПРОГРАМА

И. Ростовски¹

Ключови думи: бетонна смес, бетон, проектиране на състава

РЕЗЮМЕ

В настоящия доклад е направено подробно описание на метода на плътните обеми, който се ползва за проектиране на състава на бетона в България и е застъпен в учебната програма на УАСГ. Добавени са някои нови моменти, които отразяват промените в стандартизационната база след 2000 г., но нямат отношение към самата методика. Показано е, че в сегашния си вид методът не отразява съвременните тенденции в областта на проектирането на състава, производството и полагането на бетонни смеси. Изложени са мотиви за цялостно осъвременяване на метода, което да го доближи до строителната практика в сферата на производството на бетонни смеси.

1. Въведение

Под „проектиране на състава на бетона“ е прието да се разбира количественото определяне на компонентите на бетонната смес – свързващо вещество (цимент), добавъчни материали – дребен (пясък) и едър, вода, химични и минерални добавки, влакна и т.н., от които при смесване, полагане и уплътняване се получава един кубичен метър (1 m^3) бетон. Количествата на съставните материали се подбират по начин, който предполага, че от смесването им ще се получи бетонна смес и втвърден бетон с предварително специфицирани показатели на характеристиките – мярка на слягане, диаметър на разстилане, якост, водонепропускливост и др. Определените количества се представят в

¹ Иван Ростовски, доц. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: i_rostovsky@abv.bg

килограми (kg) за насипните компоненти – цимент, пясък, едър добавъчен материал (ЕДМ), респективно в литри (l или L) – за водата. Масите на добавъчните материали се отнасят за сухо състояние, като в условията на реално производство, те се преизчисляват, като се отчита действителната им влажност, при тяхното влагане в смесителя.

У нас от десетилетия за целта се използва методът на плътните обеми, който се базира на принцип, известен със същото име. Съгласно цитирания принцип, сумата от плътните обеми на компонентите, въввлечения и затворения въздух, е равна на обема на бетонната смес, който се приема за 1 m^3 или 1000 L .

2. Основни положения на метода на плътните обеми [1]

Математическото изражение на основополагащия принцип на споменатия по-горе метод е познато като уравнение на плътните обеми (1).

$$\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{с,ц}}} + \text{В} + \frac{\text{П}}{\rho_{\text{с,п}}} + \frac{\text{Е}_\text{М}}{\rho_{\text{с,е}}} + \text{А} = V_{\text{б.см.}} = 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}, \quad (1)$$

където Ц, В, П и $\text{Е}_\text{М}$ са масите на цимента, водата, пясъка и едрия добавъчен материал в kg;

$\rho_{\text{с,ц}}$ – специфична плътност на цимента, kg/m^3 или kg/dm^3 ;

$\rho_{\text{с,п}}$ и $\rho_{\text{с,е}}$ – обемна плътност на зърната на пясъка и едрия добавъчен материал, kg/m^3 или kg/dm^3 ;

А – обем на въздуха в бетона (приема се в рамките на 10 – 20 L за обикновени бетони, без въздуховъвличащи добавки).

Методът на плътните обеми е теоретико – експериментален, етапен, като в рамките на отделните етапи комбинира познати физични зависимости и данни, получени по експериментален път. Етапите са четири – предварителен, изчислителен, лабораторен и производствен.

В рамките на предварителния етап се изясняват изискванията към свойствата на бетонната смес, втвърдения бетон, съставните материали и технологията на бетоновите работи, в частта ѝ, свързана с начина на полагане на бетонната смес.

При изчислителния етап, чрез използване на таблици, графики, емпирични и теоретични зависимости се изчисляват количества на съставните материали, от които се очаква, че ще се получи бетонна смес и втвърден бетон, с характеристики, съответстващи на определените в предварителния етап или заданието за проектиране.

По време на лабораторния етап се приготвя замес от бетонна смес с ограничен обем, 20 – 50 L, който се използва за проверка (верификация) на свойствата на сместа – предимно консистенция, съдържание на въздух, плътност и др. Ако измерените (реални) показатели на свойствата се различават от избраните, се правят корекции на състава, така, че да се постигне съответствие между проектните и действителните параметри на бетонната смес. Крайният резултат от лабораторния етап е получаването на състав на бетонна смес, който има консистенция, приблизително равна на проектната, определена при предварителния етап и втвърден бетон, с характеристики максимално близки до проектните.

При производствения етап се отчита влажността на добавъчните материали и обемът на конкретния смесител, който ще се използва за производството на бетона.

Крайният резултат е рецептурен състав, който съдържа количествата на съставните материали, необходими за едно зареждане на смесителя.

2.1. Предварителен етап

Както вече бе посочено, в предварителния етап се уточняват изискванията по отношение на бетона, в пластично и твърдо състояние, и към неговите съставни материали т.е. изготвя се спецификацията на бетона (в случай, че не е изготвена предварително). На по-късен етап спецификацията става част от проектната документация по част „Технология“ или част „Конструкции“ [2]. От свойствата на бетонната смес, безспорно най-голямо практическо значение има подвижността или консистенцията. Много често тя се използва като измерител на друга комплексна характеристика – обработваемост, а именно, способността на бетонната смес лесно да се обработва, полага и уплътнява с избраните технически средства. Към настоящия момент у нас има четири стандартизирани метода за определяне на консистенцията на обикновени бетонни смеси, които са регламентирани в БДС EN 12350, части 2, 3, 4 и 5 [3 ÷ 6]. От изброените методи най-масово разпространение в световен мащаб е получил методът на слягане/метод на Абрамс, който е изключително бърз и опростен. Този метод се прилага успешно повече от сто години и е стандартизиран практически във всички държави. В проектната документация консистенцията на бетонната смес трябва да се зададе като клас по консистенция (клас по слягане, клас по степен на уплътняване или клас по разстилане чрез стръскване) или като специфицирана стойност.

Изборът на проектна консистенция на бетонната смес зависи от два основни фактора – геометрична конфигурация на конструкцията и гъстота на армировката – от една страна и начин на полагане на бетонната смес – от друга. Логично е, при тънкостенни конструкции със сложна геометрична форма и гъста армировка да се използват неподвижни бетонни смеси и обратно, при едроразмерни елементи, с нисък процент на армиране – по-гъсти.

При работа с бетон-помпи, което е в близо 90% от случаите, изборът на консистенция на бетонната смес е предопределен – слягане над 10 cm, т.е. клас по слягане S3 или по-висок.

Трябва да се взема под внимание фактът, че консистенцията на бетонната смес намалява във времето, а в същото време определянето ѝ се извършва при доставката на обекта. Това е от съществено значение през летния сезон, когато температурите на въздуха достигат и надхвърлят 30 °C, което ускорява взаимодействието между цимента и водата до два пъти и може да се стигне до нежелана бърза загуба на подвижност. Подобна неприятна ситуация може да възникне и при големи транспортни разстояния. За избягване на проблема, температурата на бетонната смес се ограничава на 30 °C, а при невъзможност за доставка до обекта в рамките на 90 min, задължително към състава се включват забавящи свързването химични добавки.

При втвърдения бетон безспорно от най-съществено значение е якостта на натиск, която се задава чрез проектен клас по якост на натиск на бетона. Традиционно изборът на проектен клас по якост на натиск се прави от проектанта по част „Конструкции“, с оглед на осигуряване на носещата способност на конструкцията и/или гарантиране на нейната дълготрайност. За съжаление, у нас последното все още се пренебрегва, в резултат на което се налагат чести ремонти на бетонни и стоманобетонни конструкции, включително в рамките на гаранционния им срок.

При стоманобетонни конструкции, поемащи натоварване от сеизмично въздействие, проектният клас по якост на натиск на бетона се избира не по-нисък от C20/25.

Счита се, че дълготрайността на конструкциите се гарантира в рамките на проектния им експлоатационен срок, ако съставът на бетона се подбере съобразно условията на работа, които са отразени чрез класа на бетона по въздействие на околната среда. Със същата цел, в Еврокод 2 [7] са определени минимални дебелини на бетонното покритие на армировката.

Нов проектен състав е пригоден за пускане в редовно производство, ако средно-аритметичната ($f_{c,m}$) и минималната единична ($f_{c,i,min}$) стойност на якостта, получени от изпитването на пробни тела, отговарят на изискванията, посочени в т. NA.A.5 на БДС EN 206:2013+A1:2016/NA:2017 [8].

Изключение се прави в случаите, когато има натрупана предварителна информация за бетона, основаваща се на експериментални данни за бетони, при които е използвана същата комбинация от съставни материали.

За да се оцени влиянието на съставните материали и производствените условия, е необходимо да се изготвят най-малко пет отделни замеса от бетонна смес, при проектна консистенция. Материалите за приготвяне на бетона за всеки замес трябва да бъдат от различни партии. От всеки замес се взема проба, като се измерва консистенцията и се приготвят минимум по три пробни тела.

В БДС EN 206 [9] химично агресивните среди, с означение ХА, се отнасят за естествена почва и почвена вода с температури между 5 °С и 25 °С, и достатъчно ниска скорост на водата, т.е. прието е, че са налице приблизително статични условия. Класът по въздействие се определя от най-неблагоприятната стойност на единичните химични характеристики на средата. Когато две или повече характеристики за агресивно въздействие водят до един и същ клас, въздействието се класифицира в следващия по-висок клас, освен ако не е доказано, че е необходимо специално изследване за този специфичен случай.

Когато по време на експлоатация се очаква, че даден бетон ще се намира в контакт с вода, обикновено към него се предявяват допълнителни изисквания, свързани с осигуряване на водонепропускливост и повишена устойчивост срещу дифузия на потенциално агресивни за бетона и армировъчната стомана съединения (при класове XS и XD).

Аналогично, при риск от водонасищане и последващо замръзване (клас XF), бетонът трябва да притежава адекватна на експлоатационните условия мразоустойчивост, която се задава чрез проектен клас по мразоустойчивост.

Изборът на цимент за направа на бетон се свежда до уточняване на клас по якост на натиск, тип, респективно подтип на цимента. Типът на цимента се определя в зависимост от условията на работа на конструкцията по време на нейната експлоатация. Циментът трябва осигурява максимална устойчивост на бетона при дадените въздействия на околната среда.

Добавъчните материали за бетон трябва да съответстват на БДС EN 12620 [10] и националното приложение (NA) към него. В зависимост от едрината на зърната добавъчните материали се разделят на дребни (пясъци) и едри. От своя страна едрият добавъчен материал може да бъде речен чакъл, трошен камък и трошен чакъл. Обикновено речният чакъл се прилага за бетони с по-ниска якост, например до клас C20/25, по изключение C25/30. При бетоните с по-висока якост, C25/30 и повече, се използва трошен камък или трошен чакъл. Разбира се, това е „неписано правило“, тъй като при избора на едър добавъчен материал съществено значение има цената му.

Максималният размер на едрият добавъчен материал е характеристика, изборът на която зависи от геометричните характеристики на бетонирания елемент и неговата армировка – от една страна и начина на полагане на бетонната смес в кофражните форми – от друга. При предварително напрегнати стоманобетонни конструкции, едрината на

добавъчните материали трябва да се съобрази с геометричната конфигурация на напрегнатата армировка – светло разстояние, в хоризонтална и вертикална посока, което е нов момент. Максималният размер на едрия добавъчен материал D се задава с две числени стойности, горна и долна – D_{upper} и D_{lower} .

2.2. Изчислителен етап

В началото на изчисленията се определя количеството на водата или водоциментното отношение, без значение на избраната последователност. Обикновено количеството на водата (направна вода) се отчита от таблица или графика, получени по експериментален път. Установено е, че при обикновените бетони, при които количеството на цимента не надвишава 500 – 550 kg за кубичен метър бетон, консистенцията на бетонната смес е в пряка зависимост от количеството на водата. Това от своя страна е позволило разработването на споменатите по-горе таблици или графики. У нас за определяне на количеството на водата в бетонната смес се използва популярната графика на проф. С. А. Миронов, която се отнася за бетони с използване на обикновен портландцимент, речен чакъл и среден пясък, като съставни материали. Когато за производството на бетона се използва друга комбинация от компоненти, отчетеното количество на водата се коригира (2):

$$V = V_{отч} + \Delta V_{п} + \Delta V_{тр.к.} + \Delta V_{IIIЦ} , \quad (2)$$

където $V_{отч}$ е отчетеното количество на водата от графиката (или таблицата) в литри (l) за 1 m^3 бетонна смес;

$\Delta V_{п}$ – корекция на отчетеното количество на водата, при използване на ситен или едър пясък;

$\Delta V_{тр.к.}$ – корекция на отчетеното количество на водата, при използване на трошен камък;

$\Delta V_{IIIЦ}$ – корекция на отчетеното количество на водата, при използване на пуцоланов портландцимент или пуцоланов цимент.

Допълнително, количеството на водата може да бъде намалено, ако се предвижда използването на водонамаляващи или силноводонамаляващи химични добавки. Няма да е пресилено да се каже, че съвременното производство на бетонни смеси е практически немислимо без употреба на химични добавки. Нещо, което не се отчита в сегашния вариант на метода, който е включен в учебния материал на инженерните специалности на УАСГ. Не се взема под внимание възможността за употреба на трошен пясък.

Сравнението с аналогични чуждестранни методи [11, 12], показва, че в тях се предвижда практически същото количество направна вода. При производствени състави от българската строителна практика, количеството на водата е сходно, с разлика до 5 – 10 l, при положение, че не се използват водонамаляващи химични добавки.

Водоциментното отношение, от което се очаква, че втвърденият бетон ще има необходимата проектна якост, се изчислява чрез емпирични формули, таблици или графики, които изразяват зависимост между якостта на натиск на бетона, от една страна и свойствата на съставните материали – от друга. У нас най-популярни са модифицираната формула на *Bolomey* (3а и 3б) и формулата на *Otto-Graf* (4). Формулата на *Bolomey* се състои от два израза – за обикновен бетон ($w \geq 0,4$) и за високоякостен бетон ($w < 0,4$).

$$f_{cm} = a f_{cem} \left(\frac{1}{w} - 0,5 \right), \text{ при } w \geq 0,4, \quad (3a)$$

$$f_{cm} = a_1 f_{cem} \left(\frac{1}{w} + 0,5 \right), \text{ при } w < 0,4, \quad (3б)$$

$$f_{cm} = \frac{f_{cem}}{mw^2}, \quad (4)$$

където f_{cm} е средната изчислителна кубова якост на натиск на бетона в N/mm^2 на 28 дневна възраст за кубични пробни тела с дължина на ръба 150 mm;

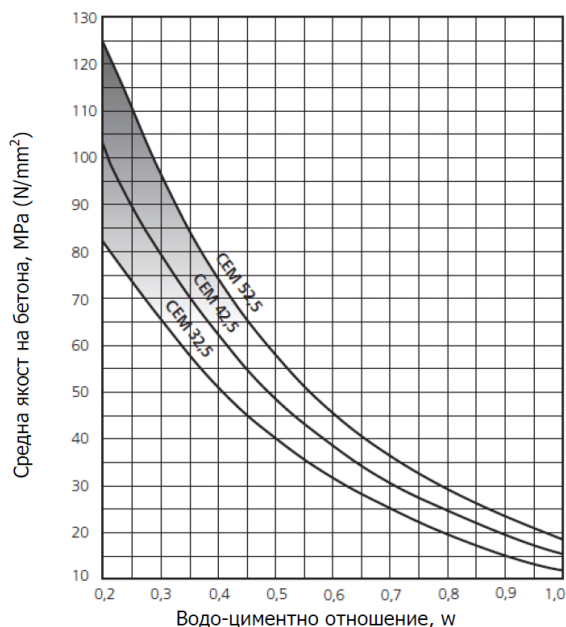
w – водоциментно отношение;

f_{cem} – якост на натиск на 28-дневна възраст на използвания цимент (активност), в N/mm^2 ;

a , a_1 и m – емпирични коефициенти, които зависят от свойствата на съставните материали.

Когато във формулите се заместят приетите стойности за якостта на натиск на бетона, якостта на натиск на цимента и коефициентите a и/или a_1 и/или m , единствената неизвестна величина остава w , която се определя чрез решение на уравнение с едно неизвестно.

След получаването на водоциментното отношение w е необходимо да се направи проверка, дали изчислената стойност не е по-голяма от максимално допустимата за съответния клас по въздействие на околната среда, указана в Приложение NA.F на БДС EN 206:2013+A1:2016 /NA:2017, което е нов момент (след 2017 г.). Ако проверката не е изпълнена, се приема стойността от Приложението.



Фиг. 1. Графика за отчитане на водоциментното отношение в бетона [13]

На фиг. 1 е показана графика за отчитане на водоциментното отношение, в зависимост от класа на бетона, която се ползва при проектиране на състава на бетона в Германия. Дори една бърза съпоставка с използваните у нас формули показва, че при графиката проектната якост на бетона се получава при по-високо водоциментно отношение. Резултати от изпитване на производствени състави на бетони в България показват значително по-голяма близост до фиг. 1 в сравнение с формули (3а), (3б) и (4).

При положение, че вече са известни водоциментното отношение и количеството на водата, може да се намери неизвестната маса на цимента (7).

$$Ц = \frac{В}{w}, \text{ kg.} \quad (5)$$

Ако количеството на цимента, получено от уравнение (5), е по-голямо от минимално регламентираното за съответния клас по въздействие на околната среда, съгласно Приложение NA.F, се работи с изчислената маса на цимента. При положение, че тази проверка не е изпълнена, количеството на цимента се приема за равно на минималното, взето от Приложение NA.F, а направната вода се коригира, в зависимост от приетото водоциментно отношение.

Най-често количествата на водата и цимента се закръгляват на 1 kg или 1 L.

Следващата стъпка от изчислителния етап е определянето на количествата на добавъчните материали – пясък и едър добавъчен материал. Използва се уравнение (1) – за плътните обеми, в което има две неизвестни величини, а именно – Π и E_M . За да може да се получи система от две уравнения с две неизвестни, откъдето да се определят неизвестните маси, е необходимо още едно условие. За целта се използва една от следните две възможности:

- пясъкът, в свободно насипано състояние, трябва да запълни с излишък обема на празнините между зърната на едрия добавъчен материал (ЕДМ) (6):

$$\frac{\Pi}{\rho_{o,\Pi}} = \alpha \frac{E_M}{\rho_{o,e}} \left(1 - \frac{\rho_{o,e}}{\rho_{c,e}} \right), \quad (6)$$

където α е коефициентът на запълване на празнините между зърната на едрия добавъчен материал, приема стойности 1,1 – за ситен пясък, 1,2 – за среден пясък и 1,3 за едър пясък;

- пясъкът, циментът и водата формират циментопясъчен разтвор, който трябва да запълни с излишък обема на празнините между зърната на ЕДМ (7).

$$\frac{Ц}{\rho_{c,\Pi}} + В + \frac{\Pi}{\rho_{o,\Pi}} = \gamma \frac{E_M}{\rho_{o,e}} \left(1 - \frac{\rho_{o,e}}{\rho_{c,e}} \right), \quad (7)$$

където $\gamma = 0,82 + V_t$ е геометричен параметър на макроструктурата на бетона, имащ същия смисъл, както α в уравнение (6);

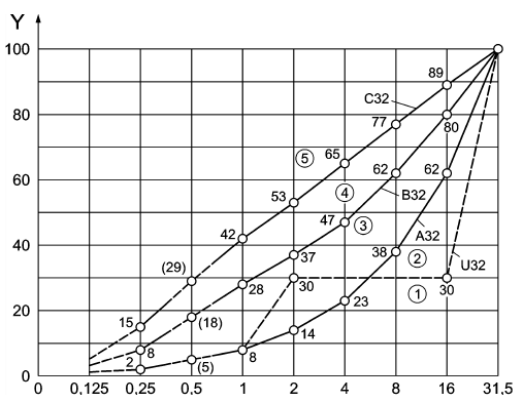
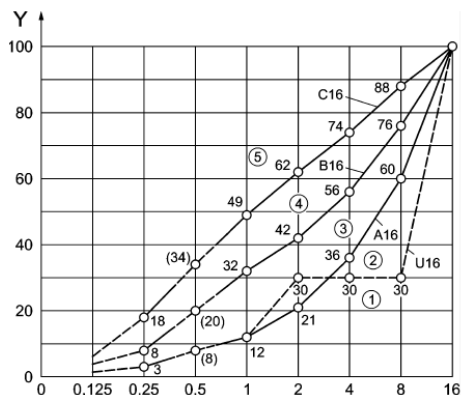
V_t – обем на циментовата паста в бетона, изчислява се съгласно (8):

$$V_t = \frac{Ц}{\rho_{c,\Pi}} + В. \quad (8)$$

По този начин се получава система от две уравнения, с две неизвестни – съответно уравнения (1) и (6) или (1) и (7), откъдето могат да се определят неизвестните маси на

добавъчните материали. Както се вижда, не се отчитат видът и характеристиките на добавъчните материали. Обикновено изчислените количества на добавъчните материали се закръгляват на 5 kg.

Ако се сравнят получените количества на добавъчните материали, с тези, получени по методите, например използвани в Германия или Франция [14], ще се установи, че количествата на пясъка са с около 100 – 200 kg по-ниски, за сметка на едрия добавъчен материал.



Фиг. 2а и 2б. Стандартизирани зърнометрични криви – DIN 1045-2 [15] за $D = 16 \text{ mm}$ (2а) и $D = 31,5 \text{ mm}$ (2б)

Казаното по-горе се потвърждава и от стандартизираните зърнометрични криви (фиг. 2) от DIN 1045-2 за максимален размер на зърното 16 mm и 31,5 mm. От тях може да се отчете директно количеството на пясъка и едрия добавъчен материал. За бетон помпи се препоръчва да се прилага крива „В“. При линейна интерполация се вижда, че за $D = 22,4 \text{ mm}$, това е размерът, който се прилага най-масово у нас, количеството на пясъка е около 50% от общото количество на добавъчните материали. Докато при използване на уравнение (6), то е около 35 – 40%, а при уравнение (7) – по-малко. Производствените състави на бетони в България имат значително по-високо съдържание на пясък, в сравнение с това, което се получава по изчисления от уравнение (6) и близко до графиките на DIN 1045-2.

2.3. Експериментален етап

При експерименталния етап се изготвя лабораторен замес, със сравнително неголям обем (20 – 50 L), което позволява да се определи консистенцията на бетонната смес и да се изготвят пробни тела за изпитване на свойствата на втвърдения бетон. При определени случаи, когато са налице допълнителни изисквания към пресния и/или втвърдения бетон, например при използване на въздуховъвлечащи добавки, може да се измери съдържанието на въздух в пресния бетон. Количествата на съставните материали, необходими за лабораторния замес, се изчисляват с точност до 1 g, като се използва просто тройно правило.

У нас консистенцията на бетонната смес най-често се определя съгласно БДС EN 12350-2, т.е. по метода на слягане. При производство на продукти от бетон в заводски условия, например чрез вибропресоване, когато се използват гъсти бетонни смеси, може да се приложи методът ВеБе (БДС EN 12350-3). При високоподвижни бетонни смеси,

например такива, предназначени за приложение в геотехниката, е уместно да се използва методът чрез разстилане при стръскване (БДС EN 12350-5).

В зависимост от резултатите, получени за консистенцията на пресния бетон са възможни следните три варианта:

Първи вариант. Измерената консистенция на бетонната смес от лабораторния замес е равна или не се различава съществено от предвидената по проект (вж. таблица 23 на БДС EN 206 + A1). При този вариант корекции не се правят. С получения при изчислителния етап състав на бетона се изготвят пробни тела, за да се проверят свойствата на втвърдения бетон.

Втори вариант. Измерената при лабораторния замес консистенция на бетонната смес е по-ниска от предвидената по проект, т.е. бетонната смес е по-трудно обработваема. При този вариант еднократно или последователно многократно към сместа от пробата се добавят вода и цимент до изравняване на получената консистенция с проектната. Съотношението по маса между добавените количества вода (ΔV) и цимент (ΔC) е равно на водоциментното отношение, определено при изчислителния етап.

Трети вариант. Измерената консистенция на бетонната смес от лабораторния замес е по-висока от предвидената по проект, т.е. бетонната смес е силно подвижна и евентуално склонна към разслояване и водоотделяне. При този вариант еднократно или последователно многократно към бетонната смес на пробата се добавят пясък и едър добавъчен материал до изравняване на получената консистенция на пробата с проектната. Съотношението между добавените количества пясък (ΔP) и едър добавъчен материал (ΔE_M) е равно на съотношението между двата материала, определено при изчислителния етап.

Консистенцията на бетонната смес се определя не по-късно от 15 min след добавяне на водата. Така чрез последователни приближения се достига до проектната консистенция. В резултат на направените корекции се променя състава на бетона, получен при изчислителния етап, като коригираният състав има консистенция равна на проектната.

Ако якостта на втвърдения бетон е по-ниска от проектната, се определя нов състав с по-ниско водоциментно отношение. При положение, че получената якост е по-висока от проектната, се определя нов състав на бетона с намалено количество на цимента, като се държи сметка за минималното съдържание на цимент, така, както е регламентирано в Приложение NA.F.

В края на лабораторния етап е налице състав на бетона, при който се получава консистенция на бетонната смес и якост на бетона, равни на проектните.

2.4. Производствен етап

По време на реално производство на бетонни смеси се работи с добавъчни материали, които са влажни. Влагата може да попадне в материала по различен начин – при производството, при валеж или при целенасочено третиране на добавъчните материали с вода, например поливане със студена вода през летния период за охлаждане на материалите и понижаване на температурата на бетонната смес. Ако не се предприемат коригиращи действия, употребата на влажни добавъчни материали води до увеличаване на водното съдържание в бетона, респективно до намаляване на сухото вещество. Следователно, когато се използват влажни добавъчни материали, количеството им в 1 m^3 бетон трябва да се увеличи, а това на водата – да се намали, за да се запази зададеният състав на бетона.

За да не се стигне до увеличаване на водоциментното отношение в бетона, количеството на направната вода, което е определено, в края на лабораторния етап трябва да бъде намалено, като се приспадне водата, която се внася чрез добавъчните материали.

2.5. Рецетурен състав на бетона

До този момент всички изчисления се отнасяха за 1 m^3 бетонна смес. При производството на бетонни смеси биха могли да се използват инсталации с различен обем на смесителя – 1 m^3 , $1,6 \text{ m}^3$, $1,8 \text{ m}^3$, 2 m^3 , $2,25 \text{ m}^3$, $2,5 \text{ m}^3$, 3 m^3 и т.н. Във всеки конкретен случай, в зависимост от обема на смесителя монтиран на производствената площадка, ще трябва да се дозира различно количество материали.

Уравнението на плътните обеми (1) е валидно за бетонна смес, когато съставните материали са хомогенизирани. При зареждане на смесителя същите материали се дозират и се насипват един върху друг, при което те заемат своите обеми в свободно насипно състояние, които са значително по-големи от обемите в плътно състояние. При зареждането на смесителите водата не заема допълнителен обем, тъй като тя омекря сухите компоненти (цимент, пясък, едър добавъчен материал) и се помества в празнините между техните частици. Това е причината при определяне на количествата на съставните материали за едно зареждане на смесителя първоначално да се изчислява т.нар. добивен коефициент, който представлява отношение на обема на бетонната смес към сумата от първоначалните обеми в насипно състояние на съставните материали, без водата (9). Стойността на коефициента показва с колко намалява общият обем на сместа по време на нейното приготвяне.

$$D_K = \frac{V_B}{V_{\text{Ц}} + V_{\text{П}} + V_{\text{Е}}} = \frac{1000}{\frac{\text{Ц}'}{\rho_{\text{о,ц}}} + \frac{\text{П}_w}{\rho_{\text{о,п}}^w} + \frac{\text{Е}_w}{\rho_{\text{о,е}}}}, \quad (9)$$

където V_B – обем на бетонната смес, dm^3 ;

$V_{\text{Ц}}$ – обем на цимента в насипно състояние, dm^3 ;

$V_{\text{П}}$ – обем на влажния пясък в насипно състояние, dm^3 ;

$V_{\text{Е}}$ – обем на едрия добавъчен материал в насипно състояние, dm^3 ;

$\text{Ц}'$ – маса на цимента в kg след уточняването на състава в края на лабораторния етап;

П_w – маса на влажния пясък, в kg, определена при производствения етап;

Е_w – маса на влажния едър добавъчен материал, в kg, определена при производствения етап;

$\rho_{\text{о,ц}}$ – обемна плътност на цимента, kg/dm^3 ;

$\rho_{\text{о,п}}$ – обемна плътност на влажния пясък, kg/dm^3 ;

$\rho_{\text{о,е}}$ – обемна плътност на влажния едър добавъчен материал, kg/dm^3 .

Най-често добивният коефициент, определен по формула (9), се изменя в границите от 0,55 до 0,75. Обемът на бетонната смес, която ще се получи при едно зареждане на смесителя, е:

$$V_{\text{б.см.}} = D_K V_K, \quad (10)$$

където $V_{\text{б.см.}}$ е обем на бетонната смес, която ще се получи при едно зареждане на смесителя, dm^3 ;

V_K – общ обем на смесителя, dm^3 .

По този начин количествата на съставните материали, необходими за едно зареждане на даден смесител, могат да се изчислят, като отново се използва простото тройно правило.

3. Изводи

Въз основа на приложението на описания по-горе метод, който е част от учебния материал по дисциплината „Строителни материали“ на инженерните специалности на УАСГ, и получените състави на бетонни смеси в рамките на учебния процес, могат да се направят следните по-важни изводи:

- необходимо е разширяване на предварителния етап, като се отчетат всички допълнителни изисквания и възможности по отношение на бетонната смес и втвърдения бетон, които произтичат от съвременната нормативна база в областта на бетона, бетонните и стоманобетонните конструкции и др.;
- количеството на водата, което се отчита от таблиците или графиките, е близко до това, което е необходимо за получаване на желаната консистенция, при бетонни смеси без водонамаляващи и/или силноводонамаляващи химични добавки, в практически условия. В сегашния си, неактуализиран вид, методът не предвижда използване на химични добавки;
- основните емпирични зависимости, които показват връзката между характеристиките на съставните материали и якостта на бетона (*Bolomey* и *Otto-Graf*), и се използват за определяне на водоциментното отношение в бетона, са с над осемдесетгодишна история. През този период използваните цименти са претърпели значителни изменения, изразяващи се основно в промяна на относителното съдържание на клинкерните минерали – главно увеличаване на алита за сметка на белита;
- обикновено, стойността на водоциментното отношение, което се получава по изчисление, е по-ниска от използваните в практиката. Количеството на цимента, определено при изчислителния етап, е значително по-високо от това, при което се получава проектната якост на бетона в производствени условия. Разликата в количеството на цимента, определено по изчисления, и реално влагането, се увеличава с нарастване на якостта на бетона;
- количествата на дребния добавъчен материал (пясък), които се получават по изчисление, са значително по-ниски от реално използваните в практиката. Бетонните смеси с подобно съдържание на пясък са груби, труднообработваеми и са склонни към водоотделяне и разслояване;
- не се предвижда употреба на естествени трошени пясъци, които в момента заемат значителен сегмент от общото количество на пясъците за бетон, с тенденция към увеличаване поради намаляващото производство на естествен речен пясък – основно от екологични съображения;

- практически не се обръща внимание на зърнометричния състав на добавъчните материали, определят се две количества – пясък и едър добавъчен материал, без да се отчита възможността за комбиниране на различни фракции в рамките на тези материали, с цел постигане на благоприятен зърнометричен състав на комбинацията от тях. Това от своя страна води до подобряване на обработваемостта, намаляване на количеството на направената вода, респ. икономия на цимент;
- не се взема предвид наличието на плоски и продълговати зърна в едрия добавъчен материал, което се отразява на неговата междузърнеста порьозност и води до влошаване на обработваемостта на бетонните смеси. При наличие на такива зърна, в количества над 15 – 20%, трябва да се увеличи количеството на пясъка в бетона, за да се компенсира влошената обработваемост;
- получените състави по гореописания метод са годни за полагане от транспортни средства или чрез кран, с кубел, но в повечето случаи има проблем с използването на бетон-помпи, които се дължи на ниското количество на пясъка, респ. на фини частици в бетонната смес. В момента почти 90% от бетонните смеси се полагат с бетон-помпи т.е. има голяма вероятност да има проблеми с полагането на сместа;
- в настоящия си вид методът на плътните обеми не предвижда възможности за употреба на минерални добавки, които у нас се състоят основно от летяща пепел.

4. Заключение

Методът на плътните обеми във вида си, изучаван и прилаган в България, се нуждае от цялостно осъвременяване, което да отразява промените, настъпили в нормативната база и характеристиките на използваните материали. Получените чрез него състави на бетони често са неприложими и се различават съществено от такива, които се прилагат в производствената практика и са с доказани свойства и показатели.

Необходимо е да се проучи и анализира опитът и добрите практики на водещи страни в областта на строителното материалознание, в частност бетоните. Трябва да се запълнят пропуските по отношение на факторите, влияещи върху състава и свойствата на бетоните и да се оптимизира съществуващият метод, така че да стане адекватен на съществуващата реалност в областта на производството на бетон в България.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Даракчиев, Б. и др.* Ръководство за упражнения по строителни материали. Техника, 1990 г., код 03 9534672511/4805-524-90, изд. № 15844.
2. БДС EN 13670:2009 Изпълнение на бетонни и стоманобетонни конструкции.
3. БДС EN 12350-2:2019 Изпитване на бетонна смес. Част 2: Определяне на слягането.
4. БДС EN 12350-3:2019 Изпитване на бетонна смес. Част 3: Изпитване по Vebe.
5. БДС EN 12350-4:2019 Изпитване на бетонна смес. Част 4: Степен на уплътняване.

6. БДС EN 12350-5:2019 Изпитване на бетонна смес. Част 5: Определяне на разстилането чрез стръсква.
7. БДС EN 1992-1-1:2005 Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.
8. БДС EN 206:2013+A1:2016/NA:2017 Бетон. Спецификация, свойства, производство и съответствие. Национално приложение (NA).
9. БДС EN 206:2013+A1:2016 Бетон. Спецификация, свойства, производство и съответствие.
10. БДС EN 12620:2002+A1:2008 Добавъчни материали за бетон.
11. ACI 211.1-R – 91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009).
12. *Teychenné, D. C. Franklin, R. E. and Erntroy, H. C.* REP 331 Design of normal concrete mixes. 2nd edition, ISBN 978-1-86081-172-2, IHS BRE Press, 1997.
13. Zusammensetzung von Normalbeton – Mischungsberechnung, Zement-Merkblatt Betontechnik B 20 2.2017, Herausgeber, Informations Zentrum Beton GmbH, Steinhof 39, 40699 Erkrath.
14. *Dreux, G. et Festa, J.* (1998). Nouveau guide du béton et de ses constituants. Eyrolles, Paris, France. ISBN-13 : 978-2212102314.
15. DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1.

CONCRETE MIX DESIGN – CRITICAL ANALYSIS OF THE DENSE VOLUME METHOD AS A PART OF EDUCATIONAL PROGRAM

I. Rostovsky¹

Keywords: *concrete mix, concrete, mix design*

ABSTRACT

The paper presents a detailed description of the dense volume method, which is used for concrete mix design in Bulgaria and is included in the UACEG curriculum. Some new moments are added reflecting the changes in the standardization base after 2000, but they have no relation to the methodology itself. It is shown that in its recent form the method does not correspond to the modern tendencies of the concrete mix design, production and cast. The motives for the whole update of the method are presented, which should move it closer to the construction practice in the sphere of the concrete mixes production.

¹ Ivan Rostovsky, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Building Materials and Insulations”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: i_rostovsky@abv.bg