

д-р инж. СПАС ДИМИТРОВ

**ЛОГИСТИКА
В СТРОИТЕЛСТВОТО**

**ТРАНСПОРТНО ОБСЛУЖВАНЕ
(АВТОБЕТОНОСМЕСИТЕЛИ)**

София 2008 г.

ВЪВЕДЕНИЕ

Развитието на конструкцията на автобетоносмесителите се развива едновременно с развитието на конструкцията на товарните автомобили, тъй като автобетоносмесителите се разпространяват непосредствено с появата на товарните автомобили.

Понастоящем съществува голямо разнообразие на автобетоносмесители, както по носещия автомобил, така и по вместимост на смесителния барабан.

Автобетоносмесителите се появяват в исторически контекст с появата на товарните автомобили. В началото на миналия век са направени първите опити за доставяне на строителните обекти на пресно приготвена бетонна смес не просто в каросерия на автомобил, а в специално устройство, позволяващо доставяне на бетонната смес в надеждно състояние, а именно запазваща необходимата пластичност и еднородност, което в краен аспект влияе на якостта на втвърдения бетон. Развитието на индустриалното производство на бетонни смеси е дало тласък в създаването на автобетоносмесители, които са способни да приготвят бетонната смес в процеса на транспортиране при предварително дозирани компоненти.

В началото на миналия век в САЩ са отделяли голямо внимание на въпроса за транспорт на бетонните смеси без намаляване на техните качествени показатели. През 1916 г. в САЩ е регистриран първия патент за автобетоносмесител. Първоначално произвежданите в



Фиг. 1. Автобетоносмесител САЩ (1929)



Фиг. 2. Автобетоносмесител СССР (1938)



Фиг. 3. Автобетоносмесител Австралия (1944)

САЩ многообразни устройства за транспорт на бетонни смеси или за производство на бетонни смеси от дозирани компоненти по време на транспорт, в средата на 30-те години са получили унифицирано оформление. За целта американските фирми, производителки на оборудване за механизация на строителните работи започнали да монтират на товарни автомобили хоризонтални барабани, въртящи се около своята ос. Вътре в барабана се зарежда бетонната смес, която се замесва с помощта на лопатки.

През 1935-1936 г. в САЩ започва производството на унифицирани машини, автобетоносмесители, предназначени не просто за транспорт на смеси, но и за тяхното приготвяне по време на транспорт. През 1937 г. в САЩ ясно са определили тенденцията към унификация в една машина на двойно предназначение – за транспорт и производство на бетонни смеси.

През 1936-1937 г. в СССР са произведени 15 броя автобетоносмесители, чието серийно производство започва през следващата година. До 50-те години са произвеждани автобетоносмесители с полезен обем до 2,5 m³.

В Европа производството на автобетоносмесители датира също от миналия век Liebherr (1950), Stetter (1958), CIFA (1960), които започват от началото на индустриалното производство на бетонни смеси.

Техническото развитие на автобетоносмесителите е свързано с развитието, както на автотранспортната техника, така и на самите бетоносмесители, предназначени за монтаж върху тази техника. С появата на различни многоосни автомобили се увеличава и полезния обем на бетоносмесителя за да достигне 15 m³ бетонна смес. От друга страна се преминава масово на вземане на задвижване от двигателя или маховика на автомобила и използване на хидрообемни трансмисии.

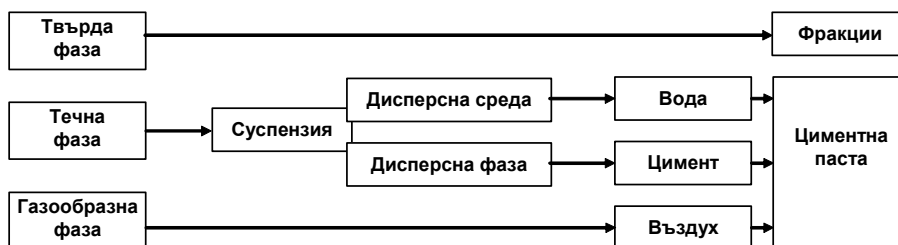
Ако имате някакви коментари, въпроси, молби или предложения, свързани с материала в тази книга, автора с удоволствие ще се запознае с тях. Вие може да се обърнете към автора на електронния адрес spasdimitrov@mail.bg.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА БЕТОННАТА СМЕС

1.1. Състав и структура

Бетонната смес представлява рационална по състав и качествено произведена смес от цимент, фракции за бетон и вода, която е възможно да бъде транспортирана, положена и уплътнена по технологично приетите начини.

Съставът на бетонната смес зависи от материалите за нейното производство. Тук основно се разглежда фазовия състав на бетонната смес. Фазовия състав се изразява с количественото участие на трите фази твърда (цимент и фракции), течна (вода) и газообразна (въздух). След смесването тя може да се разглежда като двуфазна (фиг.1.1), структурирана дисперсна система с дисперсна среда – циментна паста и дисперсна фаза – фракции (пясък и чакъл). От своя страна циментната паста представлява висококонцентрирана и структурирана дисперсна система с дисперсна среда – вода и твърда фаза – цимент и частиците от въздух, ако се разглеждат като част от пастата.



Фиг. 1.1. Фазов състав на бетонната смес

Очевидно е, че свойствата на бетонната смес зависят от свойствата на циментната паста, от качествата на фракциите и от количественото съотношение на пастата и фракциите за бетон.

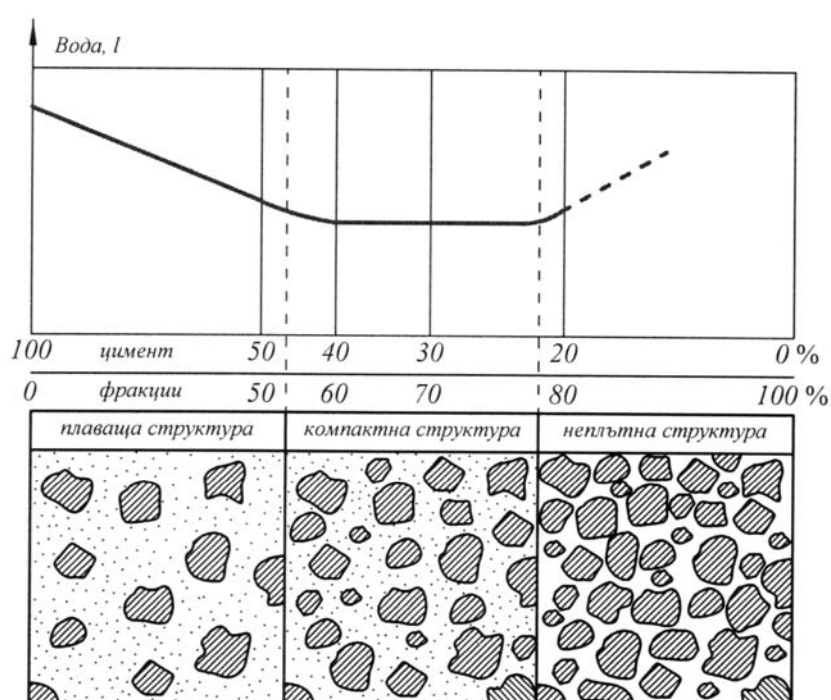
Казано по друг начин, свойствата на бетонната смес могат да се изменят [15]:

- чрез промени в циментната паста (количество на водата, вид на цимента, използване на специални добавки и др.);

- чрез промени във фракциите (максимална едрина на зърната, зърнометричен състав, количество на пясъка, форма на зърната и др.);
- чрез едновременни промени и в циментната паста, и във фракциите.

Бетонната смес има конгломератна макроструктура, определена от количествата на материалите. Структурата на една система се характеризира с елементите, от които е изградена; свойствата на тези елементи и връзките между тях.

В зависимост от отношението между циментната паста и фракциите може да се определят три типа структури [3] на бетонната смес (фиг. 1.2).



Фиг. 1.2. Видове структури на бетонната смес и тяхното влияние на водопотребността при еднаква консистенция

Плаваща структура. Зърната на фракциите са разположени на значително разстояние едно от друго и практически не взаимодействат помежду си. Зърната оказват влияние само в контактния слой с циментната паста, а сумарното им действие е право пропорционално на тяхното количество и специфичната им повърхнина. Тук от решаващо значение са свойствата на цимента. Реологическите свойства се определят със зависимости характерни за вискозна течност. Количествата на водата и

цимента са големи, а въздуха е относително малко. Такава структура имат циментно-пясъчните бетони с повишен разход на цимент.

Компактна структура. Количеството на циментната паста е по-малко и само запълва празнините между зърната на фракциите и създава тънка обвивка по тях. При това възниква триене между зърната на фракциите и необходимост от допълнително усилие при уплътняването. Фракциите и триенето между тях оказват влияние върху бетонната смес при тази структура. При смесването се въвлеча определено количество въздух, който увеличава обема на циментната паста, при което се запълват празнините между зърната на фракциите. Такава структура имат обикновените бетонни смеси.

Неплътна структура. Количеството на циментната паста е малко. То само обвива зърната на фракциите с тънък слой, а празнините между зърната са запълнени частично. Фракциите оказват силно влияние и реологичните свойства се описват с отчитане силите на вътрешно триене. Обема на въвлечения въздух при смесването се увеличава и се образуват пори и шупли. Такава структура имат безпясъчните бетони и някои постни строителни разтвори.

Бетонната смес при транспорта и полагането е изложена на действието на външни механични сили (статични и динамични) и на физико-химични фактори (температура и състав на въздуха, валежи и др.) на околната среда. Всичка това налага тя да притежава определени свойства.

Под **свойство** на бетонната смес е прието да се разбира всеки параметър, който обуславя нейното различие или сходство с други бетонни смеси и се проявява във взаимодействието ѝ с външни и вътрешни фактори. Действието на един или друг фактор се определя от състава и структурата на бетонната смес.

Бетонната смес притежава много свойства, чието единство изразява нейното качество. Някои от свойствата на бетонните смеси се наричат основни (консистенция, разслояване и др.) и служат за преценка качествата на тези смеси.

Свойствата на бетонните смеси се подразделят на четири групи: физични, механични, химични, и технологични [17]. Съвкупността от всички свойства е прието да се нарича техническа характеристика.

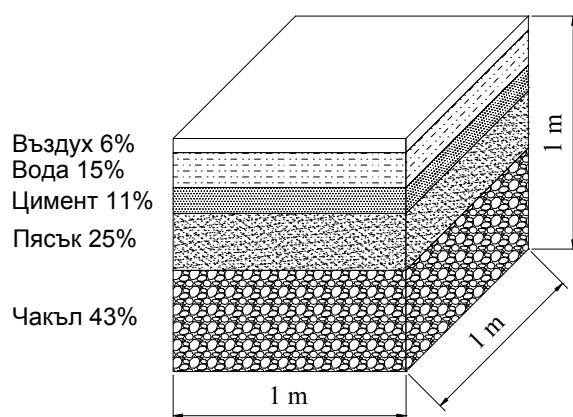
Числовите стойности, характеризиращи свойствата се определят чрез различни лабораторни изпитвания с помощта на съответни прибори и апарати. Изпитванията се провеждат чрез вземане на проби. Обикновено това са условни величини, които зависят от конкретните условия на изпитването. Даден показател на свойствата, получен при изпитване, характеризира свойствата на част (пробата) от бетонната смес.

1.2. Физични свойства на бетонната смес

Физичните свойства характеризират способността на бетонната смес да реагира на въздействието на физически фактори като гравитация, температурни промени, водна среда и др.

От физическа гледна точка бетонната смес се разглежда като плътен обем (фиг.1.3), получен от обема на водата, обема на частиците на цимента, обема на зърната на фракциите (чакъла и пясъка) и обема на въздуха, който неизбежно се въвлича при смесването или се вкарва със специални добавки.

Съдържание на въздух. В процеса на смесване в бетонната смес се въвлича определено количество въздух, което се увеличава с използването на въздуховъвличащи добавки. Въздухът въвлечен в бетонната смес значително подобрява някои свойства на сместа и на втвърдения бетон, като мразоустойчивост. За подобряване на мразоустойчивостта въвлечения въздух е необходимо да бъде диспергиран на фини мехурчета. От друга страна увеличението на въздуха в бетонната смес намалява якостите на бетона. По тази причина съществува определено оптимално количество въздух от порядъка на 4-6%, което зависи от количеството на цимента, водата и едрата фракция.



Фиг. 1.3. Обемна диаграма на бетонната смес

Обемна плътност. Под обемна плътност (маса) се разбира масата на бетонна смес (m_c) на единица обем (V_o) в естествено състояние (заедно с празнините).

$$\rho_{oc} = \frac{m_c}{V_o}, \text{ kg/m}^3 \quad (1.1)$$

Обемната плътност се използва за изчисляване на транспортните и подемно-транспортни средства, използвани в технологията на бетонните работи.

Плътност (специфична плътност или маса). Плътността е масата на бетонна смес (m_c) на единица плътен обем (V) (без порите и празнините).

$$\rho_c = \frac{m_c}{V}, \quad \text{kg/m}^3 \quad (1.2)$$

Плътността на бетонната смес се определя въз основа на плътностите на отделните компоненти по следната формула:

$$\rho_c = \frac{m_{ce} + m_{fa} + m_{ca} + m_w}{\frac{m_{ce}}{\rho_{ce}} + \frac{m_{fa}}{\rho_{fa}} + \frac{m_{ca}}{\rho_{ca}} + m_w}, \quad \text{kg/m}^3 \quad (1.3)$$

където $m_{ce}, m_{fa}, m_{ca}, m_w$, са съответно масите на цимента, фините фракции (пясъка), едрите фракции (чакъл, трошен камък) и водата, kg;

$\rho_{ce}, \rho_{fa}, \rho_{ca}$ -плътностите (специфичните маси) на цимента, пясъка и чакъла.

Плътността се използва при определяне на състава на бетона. Теоретичната плътност на бетонната смес трябва да съвпада с фактическата. Това зависи от степента на уплътнение на бетонната смес. Качеството на уплътнената бетонна смес се оценява с коефициента на уплътнение, който представлява отношение между фактическа (ρ'_c) и теоретическа (ρ_c) плътност

$$k_c = \frac{\rho'_c}{\rho_c} \quad (1.4)$$

Обикновено стремежа е да се получи коефициент $k_c \approx 1$, но поради въвличане на въздух в бетонната смес при уплътняване и други причини $k_c = 0,96...0,98$.

При бетонната смес разликата между плътността и обемната плътност е незначителна и тяхната стойност е около 2300 kg/m^3 .

Водоотделяне. Водоотделянето в бетонната смес е резултат на седиментацията на по-тежките минерални и циментни частици и е нежелателно явление в практиката. Изключение правят някои специфични технологии на уплътняване на бетонната смес като вакуумиране и центрофугиране.

Водоотделянето в бетонната смес се определя директно чрез измерване на количеството на водата, отделена за дадено време. Пробата с бетонната смес отлежава 90 min. в цилиндричен съд, след което водата се събира и измерва. Водоотделянето се изчислява в обемни проценти по формулата

$$B = \frac{a}{V} 100 \text{ (\% по обем)}, \quad (1.5)$$

където a е количеството на отделената вода, cm^3 ; V – първоначалният обемна сместта, пресметнат чрез директно измерване в цилиндъра или изчислен от определената маса на пробата и обемната плътност (ρ_{oc}).

В българските стандарти няма установено изискване на водоотделянето, но според някои автори [15] то не трябва да превишава 1,5-2% при пластичните бетонни смеси, особено при подаване на бетона с бетонпомпа.

Много вредно е водоотделянето при бетониране на пластове, тъй като образуваният отгоре тънък слой (циментова корица) нарушава сцеплението между двата пласта. В този случай при проектирането трябва да се ограничи водоотделянето.

1.3. Химични свойства на бетонната смес

Химичните свойства най-общо отразяват способността и степента на активност на материала за химическо взаимодействие с различни вещества от външната среда, и освен това способността им да съхраняват постоянен състав и структура в условията на инертна околна среда. При бетонните смеси характерен химически процес е *хидратацията*. Под хидратация на цимента се разбира реакция на клинкерните минерали с водата, при което се получават хидратни новообразувания, представляващи кристали с колоидна дисперсност. Процеса на хидратация се нарича още гелообразуване, а продуктите на хидратация - гел. Хидратацията има две гледни точки: като пространствен модел (обем и структура на новообразуванията) и като химически процес.

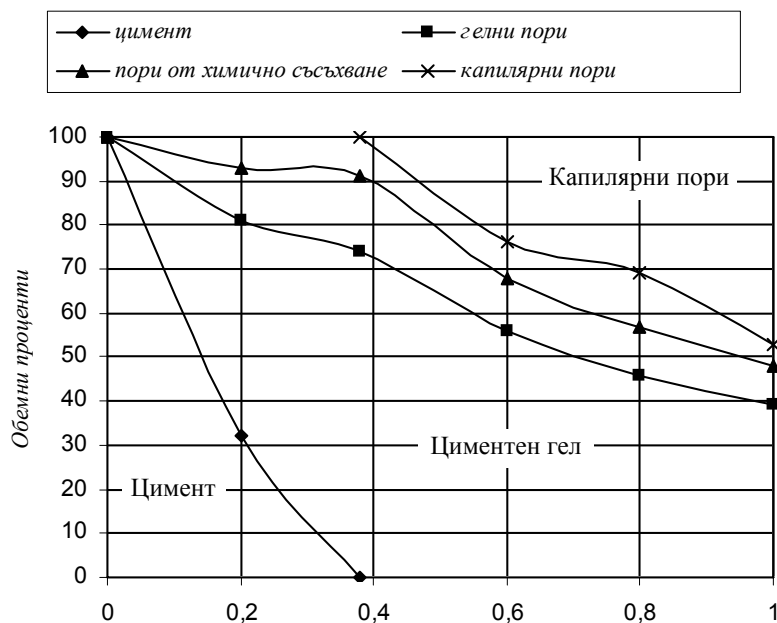
Скоростта на процеса на хидратация зависи от:

- ситност на смилане на цимента;
- минералния състав на клинкера;
- количеството на водата;
- температура на средата;
- използване на добавки.

За пълна хидратация на циментното зърно е необходима вода в количество 40% от неговата маса. От тях само 60% (т.е. 0,25 от масата на цимента) се свързва химически. Останалите 40% от направната вода остава слабо свързана в порите на гела (гелни пори). Размера на гелните пори е около $3 \cdot 10^{-7}$ mm. Те са неизбежни и придават микропорестата структура на гелната маса.

Химически свързаната вода, до определена степен претърпява обемно свиване, което представлява приблизително $\frac{1}{4}$ от първоначалния ѝ обем. По тази причина плътният обем на гела (без порите) с тази стойност е по-малък от суматана обемите на изходните компоненти цимента и водата. Този процес се

налича съсъхване, а освобождаващия се в циментния камък обем – обемно съсъхване. При наличие на вода именно този обем пори се запълва с вода. При пълна хидратация на циментния клей се получава гел, чийто обем около 30% се състои примерно от пори. Схематически обемните изменения са представени на фиг.1.4.



Фиг. 1.4. Структурни елементи на хидратацията на цимента

До сега изхождахме от това, че циментния гел се състои от 1 част по маса цимент и 0,4 части по маса вода. На практика това обаче не винаги е така. Ако количеството а цимента е повече, то количеството на водата ще се окаже недостатъчно за пълната хидратация на циментните зърна и в циментния камък ще останат нехидратирани циментни зърна. При голямо количество вода част от нея не участва в процеса на хидратация и образува в циментния камък т.н. капилярни пори с диаметър около 10^{-3} mm, които са с няколко порядъка повече от големината на гелните пори. Например такива размери достигат и пукнатините, възникнали в резултат на вече споменатото съсъхване. По такъв начин, съотношението на масите на водата и цимента в голяма степен определят структурните отношения в циментния камък. Използвайки тези съотношения, може да се определят важните физически свойства на циментния камък. Затова отношението

$$\frac{\text{маса на водата } m_w}{\text{маса на цимента } m_{ce}} = w/c$$

наречено “водоциментно” има определящо значение в технологията на бетона.

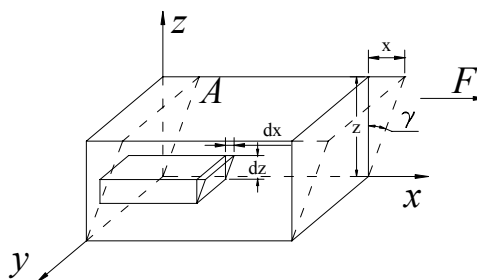
Хидратацията като химичен процес представлява химични реакции на минералите на клинкера. Тези реакции се характеризират със следното:

- при хидратация на клинкерните минерали C_3S и C_2S се образува калциев хидрат $Ca(OH)_2$, който предотвартава корозията на армировъчната стомана;
- в процеса на хидратация на клинкерните минерали се отделя различно количество топлина;
- в резултат на хидратацията на клинкерните минерали се образува изкуствен каменоподобен материал с различна якост;
- продукта на хидратация C_3A е неустойчив по отношение на сулфатите. Извършва се натрупване на неразтворими соли в капиллярите, което може да доведе до разрушаване на циментния камък (сулфатна корозия);
- в зависимост от поставените задачи в строителството се използват цименти с различно съдържание на всеки от клинкерните минерали, при което в качеството на основни критерии при избора служат четирите поставени по-горе.

1.4. Механични свойства на бетонната смес

Бетонната смес след нейното производство се подлага на различни механични въздействия при транспорт, дозиране, уплътняване (вибриране, пресоване, центрофугиране и др.). Поведението ѝ под действието на натоварване се изучава от науката *реология*. Реологията изучава деформационните свойства на материалите. Тя изяснява закона, на който се подчинява материала при действие върху него на просто деформиращо усилие, стойностите на коефициентите (реологични константи), участващи в аналитическата форма на закона за деформациите и тяхната връзка със състава на дисперсната система.

Деформациите са от опън (натиск), срязване, усукване и др. При несвиваеми дисперсни системи, каквато е бетонната смес, основна може да се счита деформацията на срязване, като останалите се представят с различни комбинации на този



Фиг. 1.5. Схема на деформация на образец

основен вид деформация. Количествена мярка на срязването може да се установи с деформацията на модел на правоъгълен паралелепипед (фиг. 1.5).

Деформиращото усилие F е приложено по допирателната на горната повърхност на паралелепипед с площ A . Долната повърхност е закрепена неподвижно. Деформацията на материала трябва да изразим с величина, независеща от неговата форма и размери, а именно $\gamma = dx/dz$. Скоростта на деформация

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dz} \right), \quad (1.6)$$

в този случай се явява скорост на срязване. Тъй като времето t и координатата z – са независими променливи, то като сменим реда на диференциране ще получим

$$\dot{\gamma} = \frac{d}{dz} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{du}{dz}, \quad (1.7)$$

т.е. скоростта на деформация при чисто срязване е равен на градиента на скоростта на раздвижване

$$u = \frac{dx}{dt}, \quad (1.8)$$

Реологичните закони трябва да установят връзка между напрежение и деформация или скоростта на деформация.

При невибрирана бетонна смес, реологията ѝ се описва с уравнението на Бингам:

$$\tau - \tau_0 = \eta \cdot \dot{\gamma} = \eta \frac{du}{dz},$$

от тук

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dz}, \quad (1.9)$$

където τ е напрежението на срязване; τ_0 - гранично напрежение на срязване; η - пластичен (остатъчен) вискозитет, който може да се разглежда като коефициент на пропорционалност между напрежение и скорост на деформацията на срязване.

Това уравнение описва поведението на бетонната смес при тръбопроводен транспорт с бетонпомпи и при полагане на подвижни смес по безвибрационни методи. При вибриране на бетонната смес началната ѝ структура се разрушава и граничното напрежение на срязване е много малко ($\tau_0 \approx 0$). В този случай поведението на бетонната смес с достатъчна степен на точност може да се опише с уравнението на Нютон за течности (при ламинарно изтичане)

$$\tau = \eta \frac{du}{dz}, \quad (1.10)$$

С повишаване съдържанието в бетонната смес на едрите фракции и намаляване съдържанието на вода или отсъствието на непрекъсната среда от циментна паста съпротивлението на срязване значително се увеличава. За описанието на такива смеси се използва законът на Кулон за свързани почви, където вътрешното сухо триене между зърната определя напрежението на срязване

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (1.11)$$

където φ е ъгъл на вътрешно триене или $\operatorname{tg} \varphi$ - коефициент на вътрешно триене; c – параметър наречен кохезия (сцепление).

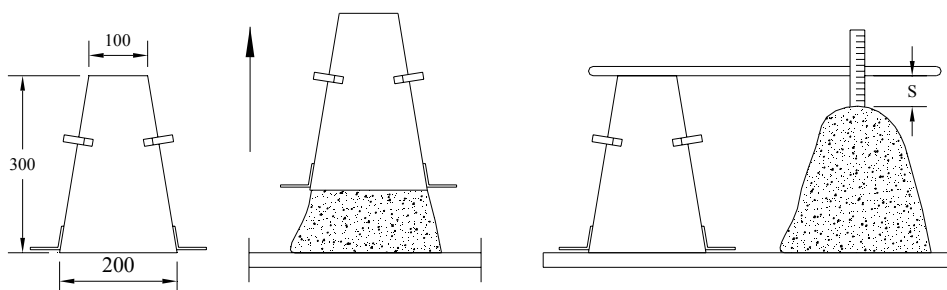
Представените реологични модели са полезни при решаване на технологични задачи за транспорт на бетонни смеси, изсипване от бункери и кубели, формоване на изделия и др. Но практика обаче, особено при проектиране състава на бетона предназначен за дадена технология е необходимо да се предвидят определени реологични параметри, определени с достатъчна практическа точност и достъпни методи. За целта се използват ориентировъчни оценки отразени в технологичните свойства.

1.5. Технологични свойства на бетонната смес

За извършване на бетонови работи и осигуряване на високо качество на бетона в конструкции и изделия е необходимо бетонната смес да има подвижност, съответстваща на условията на нейното полагане. Тази подвижност варира в доста големи граници от полусуха до течна и стандартно се определя с понятието консистенция.

Консистенция. Бетонната смес трябва да има определена подвижност (обработваемост), т.е. да може да запълва дадена форма и да се уплътнява по приетия метод. Това й свойство най-общо се характеризира със стандартния термин “консистенция”. У нас се прилагат две норми за нейното измерване: мярка на слягане с конуса на Абрамс (сантиметри) и време за слягане (секунди) с технически вибровискозиметър (или по метода на Vebe).

Мярката на слягане се използва при бетонни смеси, които могат да слягат под действие на силата на собственото тегло. Устройството за определяне мярката на слягане се състои от метална платформа с размери 700x700 mm; стоманена пръчка с диаметър 16 mm и дължина 600 mm със заоблен край и пресечен конус от стоманена ламарина. Конусът има размери показани на фиг. 1.6. След напълването и щиковането на три пласта конусът се вдига внимателно нагоре и се измерва слягането на бетонната смес S. Този конус се използва при бетонни смеси с диаметър на максималното зърно до 40 mm.



Фиг. 1.6. Определяне мярката на слягане на бетонна смес

При бетонни смеси с малко водоциментно отношение слягане на конуса почти не се забелязва. Такива смеси могат да се полагат и уплътняват под действие на външни въздействия. Обикновено тези смеси се наричат “земновлажни”. За характеризиране на техните свойства се използва вибровискозиметър който определя тяхната подвижност при вибриране изразена чрез времето на слягане.

Новия стандарт за бетона EN 206-1 определя четири класа на бетонната смес по консистенция (табл.1.1).

Таблица 1.1

Класове на бетонната смес по консистенция

Класове по слягане		Класове по Vebe	
Клас	Слягане в mm	Клас	Време по Vebe в секунди
S1	10 до 40	<i>v0</i>	>31
S2	50 до 90	V1	30 до 21
S3	100 до 150	V2	20 до 11
S4	160 до 210	V3	10 до 6
S5	>220	V4	5 до 3
Класове по степен на уплътняване		Класове по диаметър на разстилане	
Клас	Степен на уплътняване	Клас	Диаметър на разстилане в mm
C0	>1,46	F1	<340
C1	1,45 до 1,26	F2	350 до 410
C2	1,25 до 1,11	F3	420 до 480
C3	1,10 до 1,04	F4	490 до 550
		F5	560 до 620
		F6	>630

Разслояване. Под разслояване на бетонната смес се разбира преразпределение на нейните частици под влияние на силата на теглото или външно въздействие. При това частиците на едрите фракции потъват надолу при което сместа се уплътнява в долната част на кофражната форма или кофража на конструкция, а излишната вода отива нагоре или остава под зърната на едрата фракция. Подобно явление в обемите между зърната на фракциите следват и циментните зърна само, че много по бавно (поради много малкото си тегло).

Разслояване може да се получи и при полагане и уплътняване на бетонната смес. Продължителното вибриране предизвиква втечняване на сместа и способства за разслояването.

Разслояването зависи и от структурата на бетонната смес (фиг. 1.2). По-голяма склонност към разслояване имат смесите от първата структура, а по-малка – смесите с оптимална структура от втори тип. Склонността към разслояване се увеличава с повишаване на разхода на вода и водоциментното отношение. Разслояването предизвикано от потъването на едрите фракции и отделянето на вода на повърхността на положения бетон, често може да се наблюдава визуално.

Ползвана литература

1. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона. Москва, Стройиздат, 1981.
2. Бабик, Е. Е. Реология дисперсных систем. Ленинград, Издательство Ленинградского университета, 1981.
3. Баженов, Ю. М. Технология бетона. Москва, АСВ, 2002.
4. Балусhev, Е. И др. Земна механика. София, Издателство УАСГ, 1999.
5. Башлай, К. И. и др. Бетонные и железобетонные работы. (Справочник строителя). Москва, Стройиздат, 1987.
6. Венюа, М. Цименты и бетоны в строительстве. Москва, Стройиздат, 1980.
7. Виноградов, Б.Н. Влияние заполнителей на свойства бетона. Москва, Стройиздат, 1979.
8. Воробьев, В.А., А.Г. Комар. Строительные материалы. Москва, Стройиздат, 1976.
9. Вълев, В. Технология на стоманобетонните конструкции. Производство на сглобяеми елементи. София, Техника, 1988.
10. Вълев, В. Н., Б. Велев, А. Стакев, И. Павлов. Технология на сглобяемите стоманобетонни конструкции. Сборник от задачи. София, Техника, 1990.
11. Горчаков, Г. И. и др. Состав, структура и свойства цементных бетонов. Москва, Стройиздат, 1976.
12. Колев, С. Строителни материали и изпитването им. София, Техника, 1968.
13. Микульский, В. Г. и др. Строительные материалы (Материаловедение и Технология). Москва, АСВ, 2002.
14. Овчинников П. Ф. Виброреология. Киев, Наукова думка, 1983.
15. Петров, Л. К. и др. Наръчник за бетона. София, Техника, 1980.
16. Райхель, В., Д. Конрад. Бетон. Часть I. Свойства, проектирование, испытание. Москва, Стройиздат, 1979.

17. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение. Москва, Высшая школа, 2002.
18. Симеонов, Й. Т. и др. Строительни материали. София, Техника, 1991.
19. Уилкинсон. У. Л. Ненютоновские жидкости. Москва, Мир, 1964.
20. Урьев, Н. Б., Я. П. Иванов. Структурообразование и реология неорганических дисперсных систем и материалов. София, БАН, 1991.
21. Цилосани, З. Н. Усадка и ползучесть бетона. Тбилиси, Мецниереба, 1979.
22. Шестоперов, С. В. Контроль качества бетона. Москва, Высшая школа, 1981.
23. Шестоперов, С. В. Технология бетона. Москва, Высшая школа, 1977.
24. Шмигальский, В. Н. Оптимизация состава цементобетонов. Кишинев, Штиинца, 1981.
25. Ferraris, C.F. Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete. Journal of Research of the NIST, vol. 104, N5, 1999.
26. Ferraris, C.F., F. Larrard. Testing and modeling of fresh concrete rheology. NISTIR, Gaithersburg, Mariland, 1998.
27. Hak-Moon, Kim. Creep Characteristics of Rocks and Concrete – A Comparison. Dankook University, vol.3, No2.
28. Hover, K. C. Concrete Design: Part 2. Proportioning Water, Cement and Air. ISSUE, 1998.
29. Nemati, K. M. Proportioning Concrete Mixes. University of Washington, 2004.
30. Oh, S.G., T. Noguchi and F. Tomosawa. Toward Mix Design for Rheology of Self-Compacting Concrete. University of Tokyo, Japan, 1998.
31. Portland-Cement Concrete Rheology and Workability: Final Report. January, 2000.
32. Ramachandran, V.S. Concrete Science. Heyden&Son, Ltd., UK, 1981.