

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим работам по проектированию составов бетонов
с компенсированной усадкой или самоупрочением
по курсу «Напрягающий бетон и технология изготовления
самоупроченных конструкций» для студентов специальности
**1–70 01 01 «Производство строительных изделий
и конструкций»**

УДК 620....

В методических указаниях приведен графоаналитический метод подбора состава бетона на напрягающем цементе исходя из получения заданных параметров величины самоупрочнения.

Методические указания предназначены для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Производство строительных изделий и конструкций».

Составитель: Павлова И.П., доцент, к.т.н.

Рецензент: директор УО «Брестский государственный политехнический колледж», к.т.н. В.С. Басов

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Общие положения	4
2 Требования к материалам для приготовления бетона.....	5
3 Исходные данные для расчета и подбора состава бетона	6
4 Подбор номинального состава бетона.....	7
5 Назначение рабочего состава.....	10
Приложение А Пример расчета состава напрягающего бетона.....	11
Приложение Б Перечень условных обозначений.....	14

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Бетоны с компенсированной усадкой (*shrinkage-compensating concrete*) – бетоны, приготовленные на расширяющихся цементах (типа К, М, S, O), расширение которых в условиях внешнего ограничения приводит к появлению собственных сжимающих напряжений, компенсирующих последующие растягивающие напряжения, являющиеся результатом усадки.

Напрягающие бетоны (*self-stressing concrete*) – бетоны на расширяющихся цементах (типа К, М, S), расширение которых в условиях внешнего ограничения приводит к появлению собственных сжимающих напряжений такой величины, что они сохраняются в бетоне конструкции даже после полного завершения усадочных процессов. Для напрягающих бетонов к числу обязательных нормируемых физико-механических характеристик относят проектную (или расчетную) марку по самоупрочению.

Бетон на напрягающем цементе – бетон на основе напрягающего цемента, обладающий способностью при твердении увеличиваться в объеме и в условиях упругоподатливого ограничения развивать усилие самоупрочения.

Марка напрягающего бетона по самоупрочению – значение предварительного напряжения сжатия (самоупрочения) в бетоне (в МПа) в возрасте 28 сут., создаваемого в результате его расширения в условиях упругоподатливого ограничения с жесткостью, соответствующей жесткости стальной арматуры при коэффициенте осевого продольного армирования $\rho_l = 0.01$ и модуле упругости $E_s = 20 \times 10^4$ МПа.

Марка напрягающего бетона по самоупрочению обозначается символом Sp и числом, выражающим среднее значение самоупрочения, установленного испытаниями контрольных образцов.

1.1 Подбор состава бетона следует производить в соответствии с требованиями настоящих Указаний и СТБ 1182 – 99 с целью получения в изделиях и конструкциях бетона с заданной величиной самоупрочения (маркой по самоупрочению Sp), установленной нормативными документами и (или) проектной документацией на эти изделия и конструкции.

1.2 Методические указания устанавливают требования к материалам для приготовления напрягающего бетона и метод подбора состава бетонов различных марок по самоупрочению, изготавливаемых на напрягающем цементе (СТБ 1335 – 2002) и тяжелом заполнителе.

1.3 Подбор состава бетона производится с учетом исходных данных раздела 3 настоящих Указаний графоаналитическим методом. Этим методом выполняют подбор номинального (лабораторного) состава напрягающего бетона для пробных замесов на сухих материалах.

1.4 Подобранные (расчетные) составы бетона корректируются на опытных замесах с учетом заданной подвижности бетонной смеси, контроль требуемого самоупрочения выполняют по методике, изложенной в проекте СТБ "Бетон на напрягающем цементе. Технические условия".

1.5 Производственный состав бетона корректируют с учетом фактической влажности заполнителя.

2 ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА

Материалы, применяемые для подбора состава, должны соответствовать требованиям нормативных документов. Перед проектированием состава бетона и приготовлением опытных замесов следует провести испытания материалов по соответствующим нормативным документам для определения фактических значений показателей их качества, необходимых для проведения расчетов.

2.1 Вяжущее

В качестве вяжущего для получения напрягающего бетона с нормируемой величиной самоупрочнения следует применять цемент напрягающий по СТБ 1335. Рекомендуется ограничить минимальный расход вяжущего не менее 400 кг на 1 м³ бетонной смеси.

2.2 Заполнитель

Заполнитель, применяемый в напрягающих бетонах, должен соответствовать требованиям СТБ 1311, ГОСТ 8267, ГОСТ 8736. С учетом специфики структурообразования для получения бетонов с определенной величиной самоупрочнения рекомендуется ограничить минимальную крупность зерен размером 0,315 мм. Не рекомендуется использовать в составах мелкий заполнитель с модулем крупности менее 2,0.

2.3 Мелкодисперсный наполнитель

Наполнители, улучшающие структуру бетона и дающие экономию цемента, должны применяться с учетом указаний технических условий на конкретные виды добавок с последующей корректировкой рабочих составов.

2.4 Пластификаторы

Для повышения удобоукладываемости бетонной смеси без увеличения водовяжущего отношения рекомендуется использовать суперпластификаторы и гиперпластификаторы, удовлетворяющие требованиям СТБ 1112 и Пособия П1-99 к СНиП 3.09.01 в количестве, не превышающем 0,3..0,8 % от массы вяжущего согласно табл. 6. Пособия П1-99 к СНиП 3.09.01.

2.5 Вода

Вода для затворения бетонной смеси и приготовления растворов химических добавок должна соответствовать требованиям СТБ 1114.

3 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА И ПОДБОРА СОСТАВА БЕТОНА

- 3.1** Задание на подбор состава бетона должно быть составлено для изделий и конструкций конкретной номенклатуры, изготавливаемых из бетона одного вида и качества по определенной технологии.
- 3.2** Задание должно содержать следующие данные:
- 1) нормируемые показатели качества бетона в соответствии с требованиями нормативных документов и проектной документации на изделия и конструкции конкретных видов, в том числе:
 - проектную марку напрягающего бетона по самонапряжению S_p ;
 - класс бетона по прочности на сжатие C ;
 - классы (марки) бетона по прочности на растяжение, морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости и другим показателям качества, предусмотренным в нормативно-технической документации;
 - 2) требуемые показатели качества бетонной смеси, в том числе:
 - марку по удобоукладываемости;
 - плотность и другие показатели, предусмотренные технической документацией;
 - 3) технологические условия производства:
 - сроки и условия твердения бетона согласно проекту "Бетон на напрягающем цементе. Технические условия";
 - 4) ограничения по составу бетона и качеству применяемых материалов:
 - максимальная крупность заполнителя;
 - максимальное значение водовяжущего отношения в целях получения бетонов с заданными величинами самонапряжения не должно превышать 0,43;
 - 5) характеристики всех материалов, используемых для приготовления бетонов, в том числе:
 - виды вяжущих, их марки и минералогический состав, коэффициент нормальной густоты цемента, истинная плотность цемента по ГОСТ 10178;
 - модуль крупности мелкого заполнителя, максимальная крупность крупного заполнителя, истинная плотность зерен заполнителя;
 - виды и характеристики применяемых добавок.

4 ПОДБОР НОМИНАЛЬНОГО СОСТАВА БЕТОНА

4.1 Подбор состава осуществляется согласно СТБ 1182 и требований настоящих Указаний.

4.2 Расчет и назначение состава напрягающего бетона производится в следующем порядке:

1) Для применяемого заполнителя в зависимости от модуля крупности мелкого и максимальной крупности крупного по таблице 1 определяется доля мелкого заполнителя в смеси заполнителей n и коэффициент K_{agg} , характеризующий геометрические характеристики применяемого заполнителя

Таблица 1 – Характеристики применяемого заполнителя

Модуль крупности мелкого заполнителя M_k	Максимальная крупность крупного заполнителя, мм							
	5		10		20		40	
	n	K_{agg}	n	K_{agg}	n	K_{agg}	n	K_{agg}
$M_k=2,0+2,5$	1	10	0,35	5,4	0,38	4,85	0,4	4,6
$M_k=2,5+3,0$	1	9	0,36	5,1	0,39	4,55	0,4	4,2
$M_k=3,0+3,5$	1	8	0,37	4,8	0,4	4,2	0,41	3,87
M_k св. 3,5	1	7	0,39	4,5	0,41	3,87	0,42	3,52

2) Для нормативной величины самонапряжения бетона S_p в зависимости от энергоактивности применяемого вяжущего в 28-суточном возрасте (марки) определяется величина относительного самонапряжения α_{CE} :

$$\alpha_{CE} = \frac{S_p}{f_{CE,k}} \quad (1)$$

Для рассчитанной величины α_{CE} в зависимости от коэффициента K_{agg} по рис. 1 определяется объемная концентрация заполнителя c_{agg} в бетонной смеси:

3) Расход заполнителя на 1 м^3 бетонной смеси составит, соответственно:

$$\text{Зал} = c_{agg} \cdot \rho_{agg}, \text{ кг} \quad (2)$$

Для принятого по таблице значения n определяется расход песка на 1 м^3 бетонной смеси:

$$\Pi = \text{Зал} \cdot n \quad (3)$$

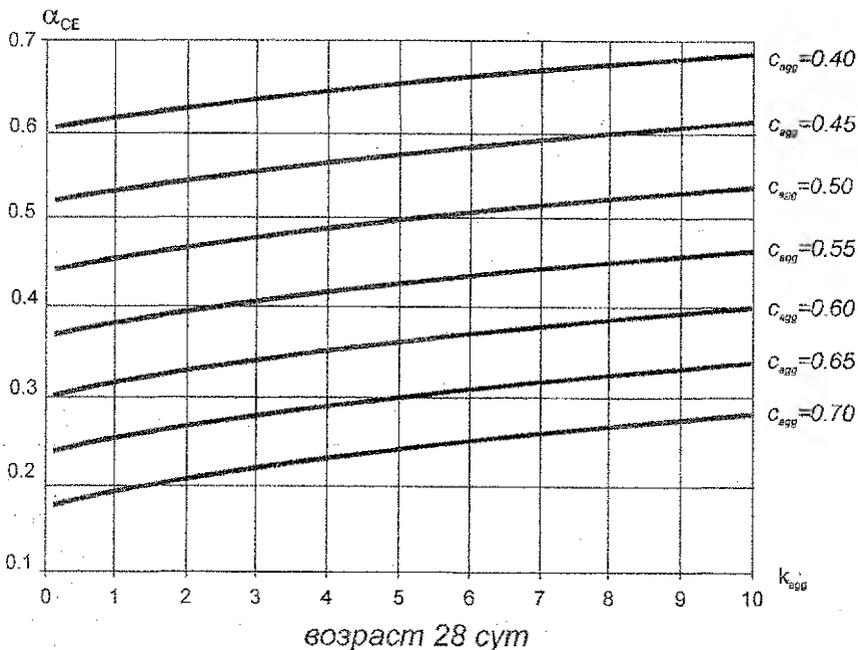


Рисунок 1 – Зависимость относительного самоупругения α_{CE} от коэффициента K_{agg} при различных объемных концентрациях заполнителя c_{agg} в 1 м^3 бетонной смеси

Расход щебня будет равен соответственно:

$$\Pi \text{Щ} = \text{Зап} - \Pi \quad (4)$$

4) Для рассчитанной объемной концентрации c_{agg} и принятого K_{agg} заполнителя по рис. 2 определяется относительное водоцементное отношение бетона $\beta_{w/c}$, равное соотношению водоцементного отношения бетона к коэффициенту

нормальной плотности цемента $\frac{w/c}{K_{н.г}}$

Общее водоцементное отношение w/c в зависимости от $K_{н.г}$ применяемого вяжущего при определенном $\beta_{w/c}$ составит:

$$w/c = \beta_{w/c} \cdot K_{н.г} \quad (5)$$

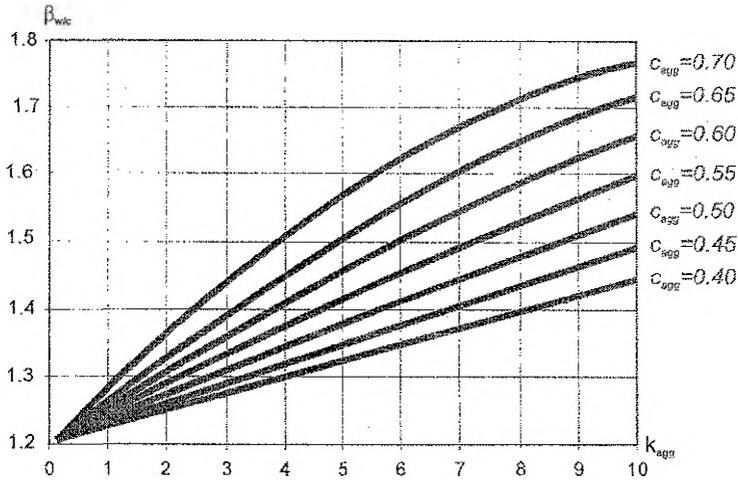


Рисунок 2 – Зависимость изменения относительного водоцементного отношения $\beta_{w/c}$ в бетонной смеси

5) Объем цементного теста в 1 м^3 бетонной смеси (без учета вовлеченного воздуха) составит:

$$c_{\text{цемент.тест}} = 1 - c_{\text{агг}}, \text{ м}^3 \quad (6)$$

6) Определение расхода цемента Ц на 1 м^3 бетонной смеси:

а) Объем цемента $c_{\text{цемент}}$ в 1 м^3 бетонной смеси:

$$c_{\text{цемент}} = \frac{c_{\text{цемент.тест}}}{1 + (w/c) \cdot \rho_{\text{цемент}}}, \text{ м}^3 \quad (7)$$

7) Расход цемента Ц на 1 м^3 бетонной смеси определяется:

$$\text{Ц} = c_{\text{цемент}} \cdot \rho_{\text{цемент}}, \text{ кг} \quad (8)$$

8) Расход воды на 1 м^3 бетонной смеси:

$$В = \left(\frac{w}{c} \right) \cdot \text{Ц}, \text{ л} \quad (9)$$

9) Для контроля изменения величины самонапряжения напрягающего бетона во времени согласно методике, изложенной в проекте СТБ «Бетон на напрягающем цементе. Технические условия», по графику (см. рис. 3) для различного возраста находим относительное самонапряжение бетона в возрасте τ – σ_{τ} :

Величина самонапряжения $\sigma_{\text{се}}$ бетона для возраста τ соответственно составит:

$$\sigma_{\text{се}} = \sigma_{\tau} \cdot S_{\rho}, \text{ МПа} \quad (10)$$

10) Расчетная плотность бетонной смеси, кг/м^3 , определяется по формуле:

$$\rho_{\text{б.см}}^T = B + Ц + Зап \quad (11)$$

При точном определении плотности составляющих фактическая плотность бетонной смеси должна быть равна или близка к теоретической (расчетной) плотности. Допускается отклонение $\pm 1\%$, при большем отклонении состав бетона уточняется по фактической плотности бетонной смеси по формулам п. 5.12. СТБ 1182.

11) Абсолютный объем материалов определяется по формуле:

$$V_{\text{м}} = B + c_{\text{см}} + c_{\text{ягг}}, \text{ м}^3 \quad (12)$$

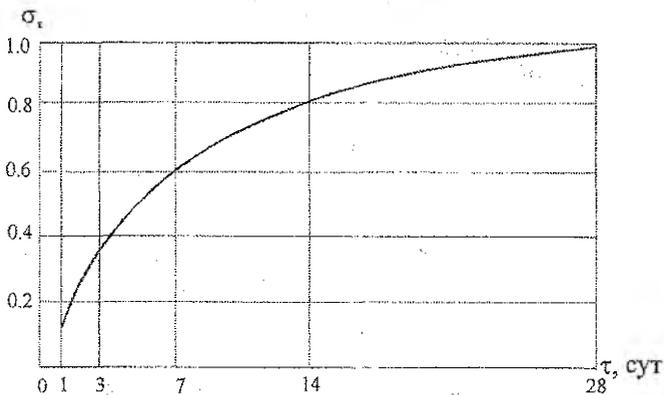


Рисунок 3 – Изменение величины самонапряжения во времени

В бетонных смесях с маркой по удобоукладываемости П1 и выше при точном определении плотности составляющих абсолютный объем материалов должен равняться 1 м^3 . Возможно отклонение в пределах 1% за счет вовлеченного воздуха.

5. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОЧЕГО СОСТАВА

5.1 Расчет рабочего состава бетонной смеси производят для материалов в естественно-влажном состоянии. При этом для сохранения вычисленного водвяжущего отношения необходимо расход воды уменьшить на ее количество, содержащееся в заполнителях, и скорректировать расход заполнителей с учетом их влажности.

5.2 Расход заполнителей и воды в рабочем составе с учетом фактической влажности определяют по формулам п. 6.4 СТБ 1182.

Приложение А
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА СОСТАВА НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА

Задание на подбор состава. Требуется подобрать напрягающий бетон марки по самоупругающему $S_{p0.6}$. Марка по удобоукладываемости П1.

Исходные материалы.

Цемент напрягающий НЦ-2-42,5 СТБ 1335, $\rho_{\text{цеи}}=3,1 \text{ г/см}^3$, коэффициент нормальной густоты $k_{н.г.}=0,27$.

Песок кварцевый, $M_k=2,4$, плотность зерен $\rho_{\text{агг}}=2,65 \text{ г/см}^3$

Щебень гранитный с максимальной крупностью зерна 20 мм, плотность зерен $\rho_{\text{агг}}=2,65 \text{ г/см}^3$.

Расчет состава бетона производится в следующем порядке:

- 1) По таблице для используемых заполнителей принимаем $n=0,38$, $k_{\text{агг}}=4,85$
- 2) Определяется величина относительного самоупругающего $\alpha_{\text{се}}$:

$$\alpha_{\text{се}} = \frac{S_p}{f_{\text{се,к}}} = \frac{0,6}{2} = 0,3 \quad (\text{A.1})$$

Для рассчитанной величины $\alpha_{\text{се}}=0,3$ в зависимости от коэффициента $k_{\text{агг}}$ по рис. 1 определяется объемная концентрация заполнителя $c_{\text{агг}}$ в бетонной смеси:

- 3) $c_{\text{агг}}=0,65$

Расход заполнителя на 1 м^3 бетонной смеси составит, соответственно:

$$Z_{\text{ап}} = c_{\text{агг}} \cdot \rho_{\text{агг}} = 0,65 \cdot 2650 = 1723, \text{ кг} \quad (\text{A.2})$$

Для принятого значения $n=0,38$ определяется расход песка в смеси:

$$\Pi = Z_{\text{ап}} \cdot n = 1723 \cdot 0,38 = 655 \text{ кг} \quad (\text{A.3})$$

Расход щебня:

$$\text{Щ} = Z_{\text{ап}} - \Pi = 1723 - 655 = 1068 \text{ кг} \quad (\text{A.4})$$

- 4) Для рассчитанной объемной концентрации $c_{\text{агг}}=0,65$ и принятого $k_{\text{агг}}=4,85$ заполнителя по рис. 2 определяется относительное водоцементное отношение бетона $\beta_{w/c}$

$$\beta_{w/c} = 1,5$$

При заданном $k_{н.г.}=0,27$ определяем общее водовяжущее отношение w/c :

$$w/c = \beta_{w/c} \cdot k_{н.г.} = 1,5 \cdot 0,27 = 0,4 \quad (\text{A.5})$$

12) Объем цементного теста в 1 м^3 бетонной смеси (без учета вовлеченного воздуха) составит:

$$c_{\text{цемент.тест}} = 1 - c_{\text{згг}} = 1 - 0,65 = 0,35, \text{ м}^3 \quad (\text{A.6})$$

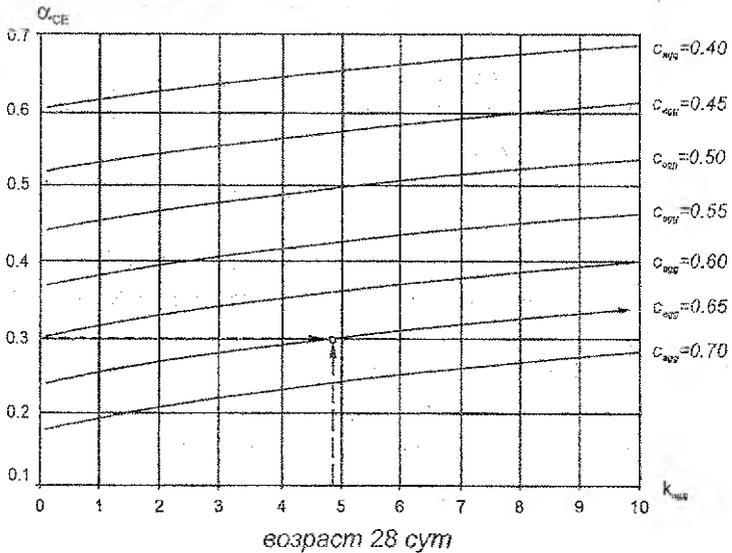


Рисунок А.1 – Зависимость относительного самонапряжения α_{SE} от коэффициента K_{agg} при различных объемных концентрациях заполнителя c_{zgg} в 1 м^3 бетонной смеси

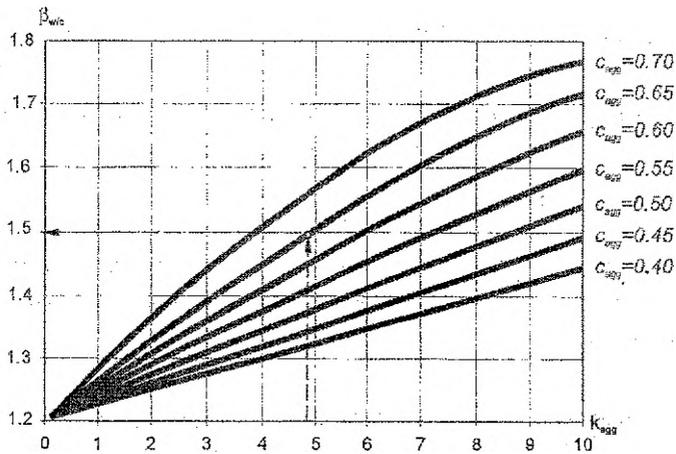


Рисунок А.2 – Зависимость изменения относительного водоцементного отношения $\beta_{w/c}$ в бетонной смеси

13) Определение расхода цемента Ц на 1 м³ бетонной смеси:

а) Объем цемента c_{септ} в 1 м³ бетонной смеси:

$$c_{\text{септ}} = \frac{c_{\text{септ. пасты}}}{1 + \left(\frac{w}{c}\right) \cdot \rho_{\text{септ}}} = \frac{0,35}{1 + 0,4 \cdot 3,1} = 0,156, \text{ м}^3 \quad (\text{A.7})$$

б) Расход цемента Ц на 1 м³ бетонной смеси определяется по формуле (A8):

$$\Pi = c_{\text{септ}} \cdot \rho_{\text{септ}} = 0,156 \cdot 3100 = 484, \text{ кг} \quad (\text{A.8})$$

14) Расход воды на 1 м³ бетонной смеси:

$$V = \left(\frac{w}{c}\right) \cdot \Pi = 0,4 \cdot 484 = 194, \text{ л} \quad (\text{A.9})$$

15) Для контроля изменения величины самонапряжения напрягающего бетона во времени согласно методике, изложенной в проекте СТБ «Бетон на напрягающем цементе. Технические условия», по графику (см. рис. А.3) для различного возраста находим относительное самонапряжение бетона в возрасте τ – σ_{ср}:

16) Определяем расчетную плотность бетонной смеси, кг/м³:

$$\rho_{\text{б.септ}}^I = V + \Pi + \text{III} + \text{IV} = 194 + 484 + 655 + 1068 = 2401 \text{ кг/м}^3 \quad (\text{A.10})$$

17) Определяем абсолютный объем материалов:

$$V_M = V + c_{\text{септ}} + c_{\text{агг}} = 0,194 + 0,156 + 0,65 = 1,0, \text{ м}^3 \quad (\text{A.11})$$

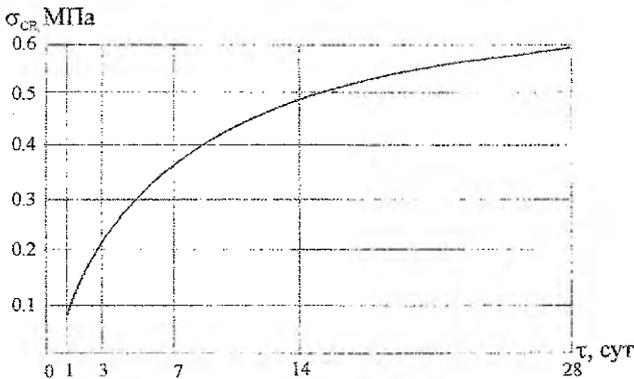


Рисунок А.3 – Прогнозируемое изменение величины самонапряжения во времени

Приложение Б

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

$c_{\text{агг}}$	объемная концентрация заполнителя, $\text{м}^3/\text{м}^3$;
$c_{\text{сеп}}$	объемная концентрация цемента, $\text{м}^3/\text{м}^3$;
$c_{\text{сеп,норм}}$	объем цементного теста, $\text{м}^3/\text{м}^3$;
$\rho_{\text{агг}}$	истинная плотность зерен заполнителя, $\text{г}/\text{см}^3$;
$\rho_{\text{сеп}}$	истинная плотность цемента, $\text{г}/\text{см}^3$;
$\rho_{\text{б.см.}}^T$	расчетная плотность бетонной смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;
w/c	водоцементное отношение;
$k_{\text{агг}}$	коэффициент, характеризующий геометрию заполнителя;
n	доля песка в смеси заполнителей;
$\beta_{w/c}$	относительное водоцементное отношение;
$k_{\text{н.т.}}$	коэффициент нормальной густоты цементного теста;
Sp	марка по самоупругости напрягающего бетона, МПа;
$\sigma_{\text{се}}$	величина самоупругения бетона в момент времени t , МПа;
$\alpha_{\text{се}}$	относительное самоупругение;
Ц, В, Щ, П	расход соответственно цемента, воды, песка и щебня, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Учебное издание

Составитель: Павлова Инесса Павловна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим работам по проектированию составов бетонов
с компенсированной усадкой или самоупрочением
по курсу «Напрягающий бетон и технология изготовления
самоупроченных конструкций» для студентов специальности
**1–70 01 01 «Производство строительных изделий
и конструкций»**

Ответственный за выпуск: Павлова И.П.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 10.02.2010 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 0,93.
Уч.-изд. л. 1,0. Заказ № 168. Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе
учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.