



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Технологии вяжущих веществ, бетонов
и строительной керамики»

Методические указания
к лабораторным работам по дисциплине
модуля «Технология железобетонных
изделий и конструкций»

**«Выбор добавок для
бетонных смесей,
перекачиваемых
бетононасосами»**

Автор
Касторных Л.И.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Методические указания регламентируют правила выполнения и оформления лабораторных работ по модулю «Технология железобетонных изделий и конструкций», выполняемых обучающимися по направлению 08.03.01 «Строительство» профиля «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

Содержат образцы выполнения технологических расчетов, правила оформления результатов испытаний, графических моделей, как в лабораторных условиях, так и в условиях реального производства.

Автор

к.т.н., доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
Касторных Л.И.





Оглавление

Введение	4
Лабораторная работа № 1 «Оценка эффективности добавок для самоуплотняющегося бетона»	5
1 Аналитический обзор.....	5
2 Материалы для приготовления бетона	5
3 Методика исследований.....	7
4 Эффективность пластифицирующего действия добавок	12
Лабораторная работа № 2 «Выбор добавок для бетонных смесей, перекачиваемых бетононасосами»	14
1 Аналитический обзор.....	14
2 Материалы для приготовления бетона	15
3 Методика исследований.....	16
4 Определение вида и рациональной дозировки добавки	18
4 Правила оперативного назначения состава бетона	20
Нормативные документы	22
Приложение А.....	23

ВВЕДЕНИЕ

Современные бетоны должны обладать высокими эксплуатационными свойствами: прочностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, низкой проницаемостью и коррозионной стойкостью. Такие бетоны отличаются многокомпонентностью состава, в них используются комплексы химических добавок, наполнители, армирующие волокна и другие материалы.

Одним из направлений получения высококачественных бетонов является использование комплексных химических добавок. Некоторые виды бетонов вообще не могут быть получены без специальных добавок. Поэтому для решения ряда технологических задач целесообразно использовать многокомпонентные добавки, регулирующие как свойства смесей, так и качество бетона. Применение специальных органических и минеральных добавок позволяет «конструировать» свойства бетона в самых широких диапазонах.

Изучение бетонов, а именно составляющих его сырьевых материалов и добавок, занимает одно из главных мест в производстве бетонных смесей. Нанотехнология - наука, без которой здесь обойтись невозможно. Она изучает взаимодействие чрезвычайно малых объектов, измеряемых нанометрами. Нанометр (нм) - миллионная доля миллиметра, величина, сопоставимая с размерами молекул и полимерных цепочек. За последнее время в этой области было сделано множество открытий, позволяющих регулировать структуру и свойства бетонных смесей. Сегодня можно управлять химическими и физическими свойствами полимеров, их взаимодействием с цементом посредством удлинения цепочки, а также длиной и плотностью боковых цепей, электрическим зарядом и свободными радикальными группами.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК ДЛЯ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА»

1 Аналитический обзор

Последним достижением науки о бетонах стала возможность получения самоуплотняющихся бетонов. Самоуплотняющийся бетон представляет собой материал, который способен уплотняться под действием собственного веса, полностью заполняя форму даже в густоармированных конструкциях. Он находит все более широкое применение. Перспективным является его использование для производства сборного железобетона, устройства монолитных высокопрочных бесшовных полов, торкретбетонирования, реставрации и усиления конструкций. Главным преимуществом применения таких бетонов является отказ от виброуплотнения при изготовлении железобетонных изделий и конструкций, что значительно снижает энергозатраты, экономит время и улучшает условия труда бетонщиков.

Цель работы – оценить влияние однокомпонентных и комплексных суперпластификаторов на основные свойства самоуплотняющегося бетона и определить оптимальную дозировку добавок при условии получения равнопрочных бетонов.

2 Материалы для приготовления бетона

В исследованиях использованы следующие материалы.

Вяжущее – цементы общестроительные, изготавливаемые на основе портландцементного клинкера, соответствующие ГОСТ 10178 (ГОСТ 30515, ГОСТ 31108) [1, 2, 3]. Основные характеристики и минералогический состав цементов приведены в таблицах 1, 2 соответственно.

Таблица 1 – Основные характеристики цементов

Показатели, единица измерения	Завод-изготовитель		

Марка (класс)			
Активность $R_{ц}$, МПа			
Истинная плотность $\rho_{цг}$, г/см ³			
Насыпная плотность $\rho_{нц}$, кг/м ³			

Нормальная густота цементного теста $HГ_{ЦТ}$, %			
Удельная поверхность $S_{уд}$, см ² /г			
Коэффициент эффективности при тепловой обработке K_T			

Таблица 2 – Минералогический состав цементов

Марка (класс)	Минералогический состав, %			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF

Минеральный наполнитель – зола-уноса Новочеркасской ГРЭС. Оптимальная дозировка добавки составляет 10 – 15 % массы цемента. По коэффициенту основности ($K_{осн} = - 0,07$) относится к ультракислым материалам.

Химический состав: SiO_2 – 50,4 %, Al_2O_3 – 20,2 %, Fe_2O_3 – 9,3 %, CaO – 6,7 %.

Мелкие заполнители:

– песок кварцевый карьера, соответствующий требованиям ГОСТ 8736 [4]:

истинная плотность $\rho_n = \dots\dots\dots$;

насыпная плотность $\rho_{нп} = \dots\dots\dots$;

модуль крупности $M_K = \dots\dots\dots$;

пустотность $V_{пп} = \dots\dots\dots$;

– песок керамзитовый, дробленный из керамзитового гравия:

насыпная плотность $\rho_{нп} = \dots\dots\dots$;

модуль крупности $M_K = \dots\dots\dots$.

Крупные заполнители:

– щебень из гранита карьера, соответствующий требованиям ГОСТ 8267 [5]:

прочность –

истинная плотность $\rho_{щ} = \dots\dots\dots$;

насыпная плотность $\rho_{нщ} = \dots\dots\dots$;

наибольшая крупность $HK = \dots\dots\dots$;

пустотность $V_{пщ} = \dots\dots\dots$;

- содержание игольчатых и лещадных зерен –
- щебень из гравия дробильно-сортировочного завода , соответствующий требованиям ГОСТ 8267 [5]:
 - прочность – ;
 - истинная плотность $\rho_{\text{иц}} = \dots\dots\dots$;
 - насыпная плотность $\rho_{\text{нц}} = \dots\dots\dots$;
 - наибольшая крупность $HK = \dots\dots\dots$;
 - пустотность $V_{\text{пц}} = \dots\dots\dots$;
 - количество дробленых зерен –

Добавки:

- суперпластификатор производства компании
 - Добавка представляет собой
 - Оптимальная дозировка – % массы вяжущего;
 - гиперразжижитель производства компании
 - Добавка представляет собой
 - Оптимальная дозировка – % массы вяжущего;

Вода – водопроводная чистая без вредных примесей, соответствующая требованиям ГОСТ 23732 [6].

3 Методика исследований

В зависимости от показателя удобоукладываемости бетонные смеси по ГОСТ 7473 [7] подразделяют на группы: жесткие (Ж), подвижные (П) и растекающиеся (Р). Группы подразделяют на марки по удобоукладываемости (Приложение 1).

Растекаемость самоуплотняющихся смесей определена по диаметру расплыва бетонной смеси (D_p) по методике EN 12350.5-2000 (рисунок 1).

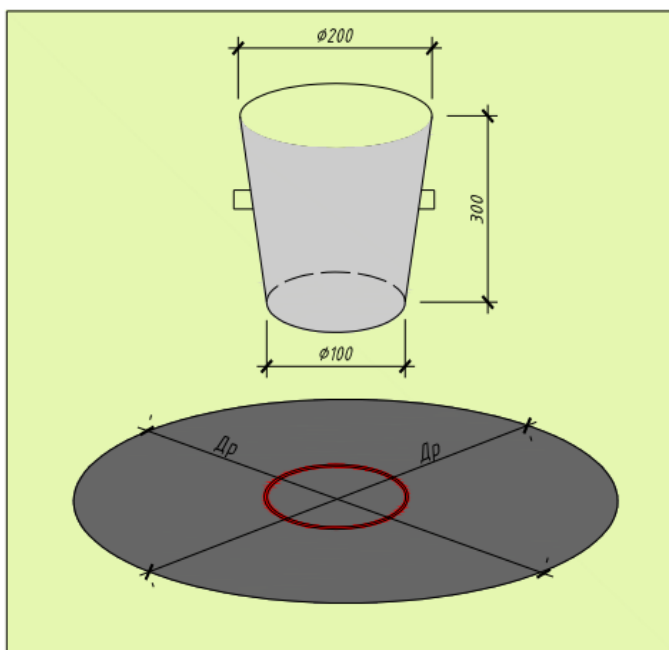
Очищенный и увлажненный конус в перевернутом виде устанавливается на гладкий лист и заполняется бетонной смесью. Избыток бетонной смеси срезается кельмой вровень с верхними краями конуса и поверхность смеси заглаживается. Конус во время заполнения должен быть плотно прижат к листу. Съём конуса производится плавно строго в вертикальном направлении. Распływ конуса бетонной смеси определяется измерением диаметра расплывшейся лепешки металлической линейкой в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Диаметр расплыва бетонной смеси вычисляют с округлением до 1,0 см, как среднеарифметическое значение результатов двух определений из одной пробы, отличающихся между собой не

более чем на 3,0 см. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

Определение средней плотности бетонной смеси $\rho_{ср}$ проводится по методике ГОСТ 10181 [8]. Изготовление, хранение и испытание образцов-кубов с ребром 10 см – по методике ГОСТ 10180 [9]. Оценка пластифицирующего эффекта и ускоряющего действия добавок выполняется по методике ГОСТ 30459 [10] в соответствии с требованиями ГОСТ 24211 [11].

Расход цемента C и воды B для бетонных смесей назначается, исходя из требований получения смеси определенной удобоукладываемости и бетона определенной прочности по справочным данным.



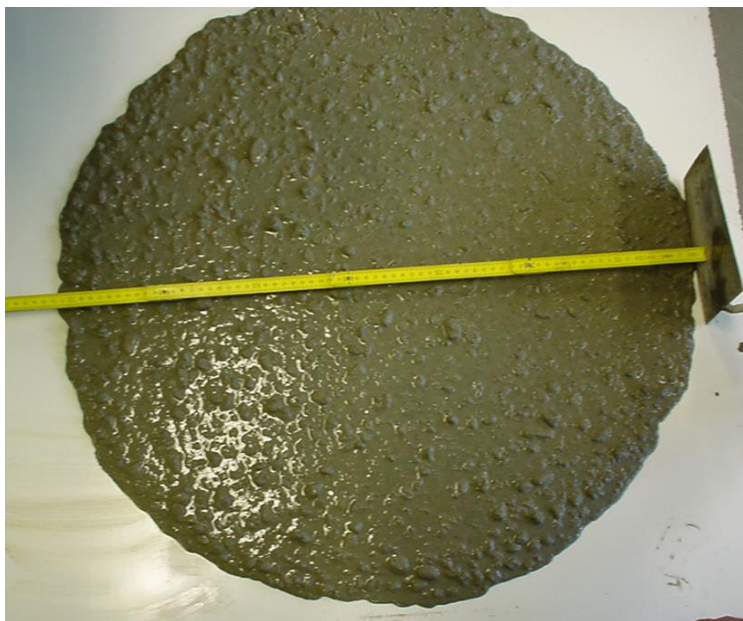


Рисунок 1 – Определение диаметра расплыва бетонной смеси

Расчет количества заполнителей, кг/м³, выполняется по методу абсолютных объемов:

$$\text{Щ} = 1000 / [(V_{\text{пщ}} \cdot \alpha / \rho_{\text{пщ}}) + (1 / \rho_{\text{щ}})], \quad (1)$$

$$\text{П} = (1000 - \text{Ц} / \rho_{\text{ц}} - \text{В} - \text{Щ} / \rho_{\text{щ}}) \cdot \rho_{\text{п}}. \quad (2)$$

Плотность бетонной смеси теоретическая, кг/м³, определяется из условия:

$$\rho_{\text{см}} = \text{Ц} + \text{В} + \text{Щ} + \text{П} + \text{Д}. \quad (3)$$

Расчет количества материалов на 1 м³ бетона приводится в табличной форме (таблица 3).

Таблица 3 – Расчет количества материалов

Состав	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг					Плотность смеси теоретическая $\rho_{см}$, кг/м ³
	цемент	вода	щебень	песок	добавка	
1						
2						
3						
4						

После приготовления и определения фактической плотности бетонных смесей $\rho_{см}^{\phi}$ рассчитан фактический расход материалов, кг/м³:

$$Ц = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + B' + П' + Щ' + Д'} \cdot Ц', \quad (4)$$

$$B = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + B' + П' + Щ' + Д'} \cdot B', \quad (5)$$

$$П = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + B' + П' + Щ' + Д'} \cdot П', \quad (6)$$

$$Щ = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + B' + П' + Щ' + Д'} \cdot Щ', \quad (7)$$

$$Д = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + B' + П' + Щ' + Д'} \cdot Д', \quad (8)$$

Результаты выполненных расчетов и проведенных испытаний бетонных смесей и бетонов представлены в сводной ведомости (таблица 4).



Таблица 4 – Сводная ведомость результатов испытаний бетонных смесей и бетона

Состав	Расход материалов на замес, кг					Плотность смеси, кг/м ³	D _p , см	Расход материалов на 1 м ³ , кг					Ц/В	Плотность бетона, кг/м ³	Прочность, $\frac{МПа}{\%}$				K _ц
	Ц'	В'	П'	Щ'	Д'			Ц	В	П	Щ	Д			R _n ¹	R _n ⁷	R _n ¹⁴	R _n ²⁸	
1																		100	
2																		100	
3																		100	
4																		100	

Примечание – R_n¹, R_n⁷, R_n¹⁴, R_n²⁸ – прочность бетона нормального твердения через 1, 7, 14 и 28 суток соответственно;
K_ц – коэффициент использования цемента ($K_{ц} = R_{n}^{28} / Ц$)

4 Эффективность пластифицирующего действия добавок

Контроль прочности образцов выполнен в возрасте 1, 7, 14 и 28 суток. Результаты испытаний контрольных образцов-кубов бетона исследованных составов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний контрольных образцов-кубов на прочность при сжатии

Дата испытания	Маркировка	Размеры, мм			Масса, кг	Плотность, кг/м ³		Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	
		a	b	h		образца	средняя		образца с учетом масшт. коэф.	средний

На основании экспериментальных данных построены графики набора прочности бетона (рисунок 2).

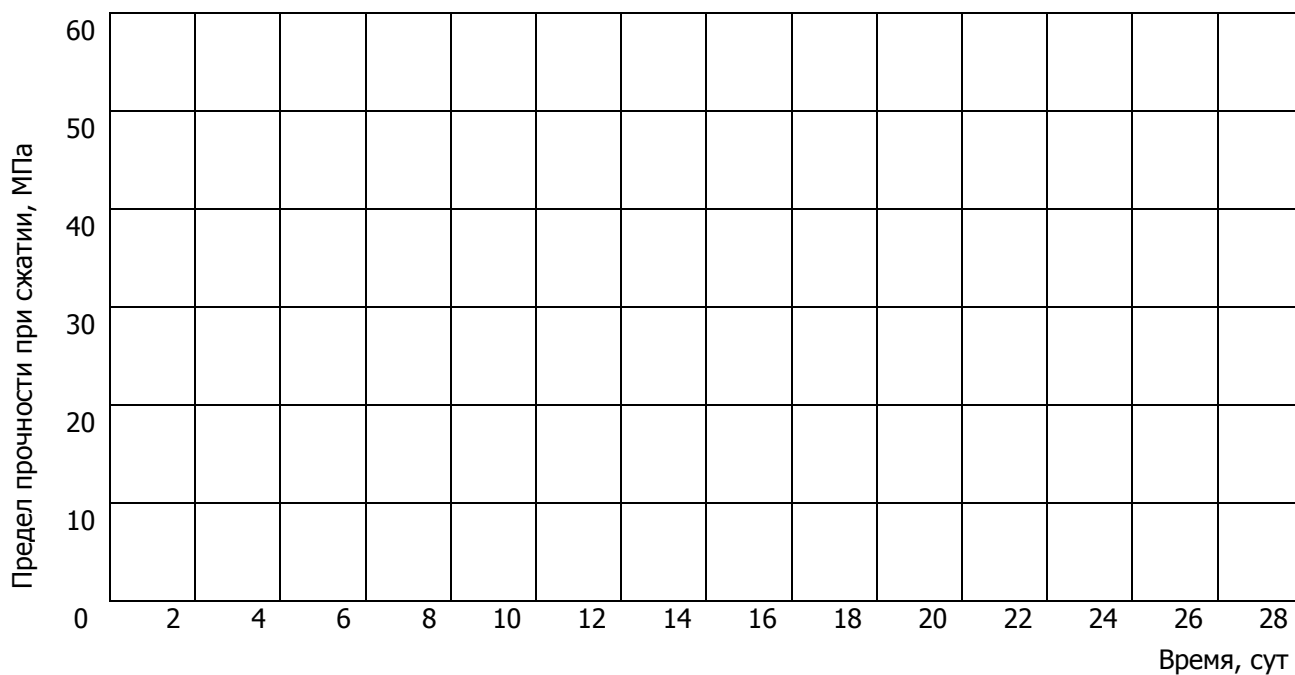


Рисунок 2 – График набора прочности бетона исследованных составов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ВЫБОР ДОБАВОК ДЛЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ, ПЕРЕКАЧИВАЕМЫХ БЕТОНОНАСОСАМИ»

1 Аналитический обзор

Применение бетононасосов является прогрессивным способом механизации процессов подачи и распределения бетонных смесей. Бетононасосная технология повышает качество и эффективность бетонных работ при возведении разнообразных монолитных и сборно-монолитных конструкций. Использование бетонопроводов малого диаметра 80 – 125 см и складывающихся распределительных стрел позволяет полностью механизировать наиболее трудоемкие процессы бетонирования и снизить трудозатраты до минимума.

Бетононасосы (рисунок 1) являются сложным дорогостоящим оборудованием и требуют высокой квалификации бетонщиков и механиков, высокой культуры производства, тщательного выполнения всех технологических требований и применения специально подобранных составов бетона (в зависимости от диаметра бетонопроводов, дальности и условий подачи смеси в конструкцию).



Рисунок 1 - Стационарный бетононасос Putzmeister BSA 1005 D / E

Бетононасосы целесообразно применять при бетонировании сооружений, находящихся в стесненных условиях, а также густонаселенных и внутренних конструкций зданий, куда затруднена

подача бетонной смеси другими способами.

Бетонные смеси, перекачиваемые бетононасосами, должны быть высокоподвижными и при этом обладать повышенной связностью и нерасслаиваемостью. Для этого в составе смесей необходимо увеличивать долю тонкодисперсных частиц, а повышение водопотребности компенсировать суперпластификаторами.

Цель работы – выбрать вид и количество химических и минеральных добавок для бетонных смесей, перекачиваемых бетононасосами и определить правила оперативного назначения состава бетона.

2 Материалы для приготовления бетона

В исследованиях использованы следующие материалы.

Вяжущее – цемент общестроительный, изготавливаемый на основе портландцементного клинкера, соответствующий ГОСТ 10178 (ГОСТ 30515, ГОСТ 31108) [1, 2, 3]. Основные характеристики и минералогический состав цемента приводится в таблицах 1 и 2 соответственно (по форме таблиц 1 и 2 лабораторной работы №1).

Минеральный наполнитель –
Оптимальная дозировка добавки составляет ... % массы цемента.

Мелкий заполнитель:

– песок кварцевый карьера, соответствующий требованиям ГОСТ 8736 [4]:

истинная плотность $\rho_n = \dots\dots\dots$;

насыпная плотность $\rho_{нп} = \dots\dots\dots$;

модуль крупности $M_k = \dots\dots\dots$;

пустотность $V_{пп} = \dots\dots\dots$

Крупный заполнитель:

– щебень из гравия дробильно-сортировочного завода, соответствующий требованиям ГОСТ 8267 [5]:

прочность –;

истинная плотность $\rho_{щ} = \dots\dots\dots$;

насыпная плотность $\rho_{нщ} = \dots\dots\dots$;

наибольшая крупность $HK = \dots\dots\dots$;

пустотность $V_{пщ} = \dots\dots\dots$;

количество дробленных зерен –

Добавки:

– стабилизатор производства компании Добавка представляет собой Оптимальная дозировка – ... % массы вяжущего;

– гиперразжижитель производства компании

..... Добавка представляет собой Оптимальная дозировка – % массы вяжущего;

.....
Вода – водопроводная чистая без вредных примесей, соответствующая требованиям ГОСТ 23732 [6].

3 Методика исследований

Определение удобоукладываемости (осадки (ОК) или диаметра расплыва конуса (D_p)) и средней плотности бетонной смеси ρ_{cp} проводится по методике ГОСТ 10181 [8]. Изготовление, хранение и испытание образцов-кубов с ребром 10 см – по методике ГОСТ 10180 [9]. Оценка вододерживающего и стабилизирующего эффекта добавок выполняется по методике ГОСТ 30459 [10] в соответствии с требованиями ГОСТ 24211 [11].

При расчете состава бетона для обеспечения показателей удобоперекачиваемости смесей к материалам предъявляются требования, которые приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Требования к материалам

Наименование показателей	Ед. изм.	Величина
Относительное водосодержание цемента $X_{ц}$		1,2 – 2,4
Степень заполнения пустот в песке цементным тестом $X_{п}$		1,1 – 1,9
Степень заполнения пустот в крупном заполнителе раствором $X_{ц}$		1,2 – 1,9
Минимально допустимый расход вяжущего $V_{яж_{min}}$	кг	300
Объем тонкодисперсных фракций	л/м ³	170 – 200
Наибольшая крупность заполнителя HK	мм	20
Расход крупного заполнителя $Ц$	л/м ³	≤ 340
Содержание мелкого заполнителя в смеси заполнителей $П/(П+Ц)$		0,4 – 0,7
Водовяжущее отношение $B/V_{яж}$		0,50 – 0,55

Показатели концентрации составляющих материалов $X_{ц}$, $X_{п}$, $X_{ц}$ определяются по формулам:

$$X_{ц} = \frac{B / Ц}{K_{не}}, \quad (1)$$

$$X_{\Pi} = \frac{V_m}{V_p \cdot \Pi_n}, \quad (2)$$

$$X_{\Psi} = \frac{V_p}{V_{\delta} \cdot \Pi_{\Psi}}, \quad (3)$$

где V/Ψ – водоцементное отношение;

K_{nr} – коэффициент нормальной густоты цементного теста, относительные единицы;

V_{τ} , V_p , V_{δ} – объемы цементного теста, растворной части и бетонной смеси соответственно;

Π_{Π} , Π_{Ψ} – межзерновая пустотность песка и щебня соответственно, относительные единицы.

Расчет количества материалов на 1 м³ бетона приводится в табличной форме (таблица 4).

Таблица 4 – Расчет количества материалов

Состав	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг						Плотность смеси теоретическая $\rho_{см}$, кг/м ³	Показатели концентрации		
	Ψ	H	B	Ψ	Π	D		X_{Ψ}	X_{Π}	X_{Ψ}
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

4 Определение вида и рациональной дозировки добавки

Результаты выполненных расчетов и проведенных испытаний бетонных смесей и бетонов представлены в сводной ведомости (таблица 5).

На основании экспериментальных данных построены графики изменения прочности бетона в зависимости от вида и дозировки добавок (рисунок 2).

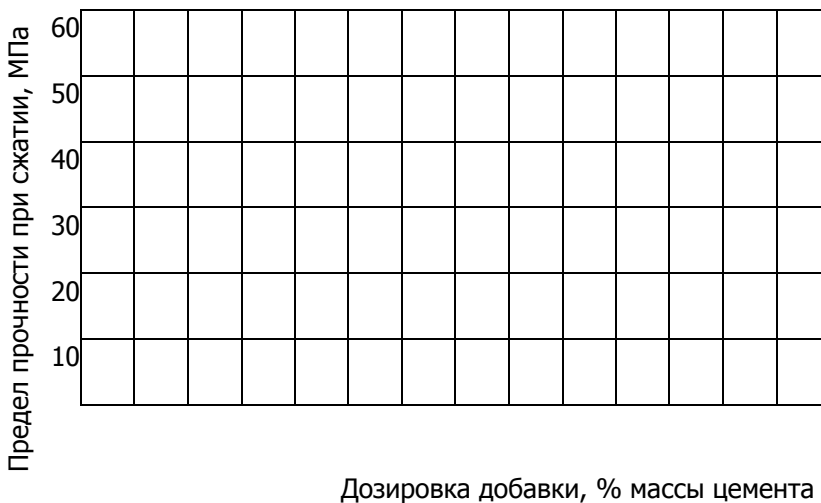


Рисунок 2 – Изменение прочности бетона исследованных составов

Таблица 5 - Сводная ведомость результатов испытания бетона

Состав	Расход материалов на замес, кг						Плотность смеси, кг/м ³	ОК Др, см	Расход материалов на 1 м ³ , кг						$\frac{Вяж}{В}$	$\frac{П}{П + Щ}$	Плотность бетона, кг/м ³	Прочность, $\frac{МПа}{\%}$			
	Ц'	Н'	В'	Щ'	П'	Д'			Ц	Н	В	Щ	П	Д				R _n ¹	R _n ⁷	R _n ¹⁴	R _n ²⁸
1																				100	
2																				100	
3																				100	
4																				100	
5																				100	
6																				100	
7																				100	
8																				100	

4 Правила оперативного назначения состава бетона

После проведения экспериментальных исследований по выбору вида и дозировки добавок выполняется расчет состава бетона. Блок-схема алгоритма расчета состава и стоимости бетона приведена на рисунке 3.

На первом этапе после определения оптимальной дозировки наполнителя и расчета водопотребности бетонной смеси рассчитывается цементоводное отношение $Ц/В$, которое сравнивается с требуемым значением $|Ц/В|$. Для дальнейших расчетов принимается $Ц/В$ с максимальным значением.

На втором этапе проводится расчет капиллярной пористости цементного камня Γ_k и расхода вяжущего $ВЯЖ^f$, если к бетону предъявляются повышенные требования по морозостойкости. Далее рассчитывается расход мелкого M и крупного K заполнителей и стоимость бетонной смеси C_{σ}^n .

На третьем этапе, если на технологической линии имеется резерв времени (длительность тепловой обработки бетона $ТО_p$ превышает длительность нормативного режима $ТО_n$), рассчитывается температура изотермического обогрева $t_{из}$ и длительность периодов низкотемпературного режима $T_{п1}, T_{п2}, T_{п3}$.

Для нового режима тепловой обработки $ТО_p$ следует пересчитать расход вяжущего $ВЯЖ_p$ и состав вяжущего: количество цемента $Ц_p$ и наполнителя $Н_p$. Затем определяется расход воды $В_p$, мелкого M_p и крупного K_p заполнителей.

После корректировки расхода материалов выполняется расчет стоимости бетонной смеси $C_{\sigma}^{нмр}$ и экономии тепловой энергии.

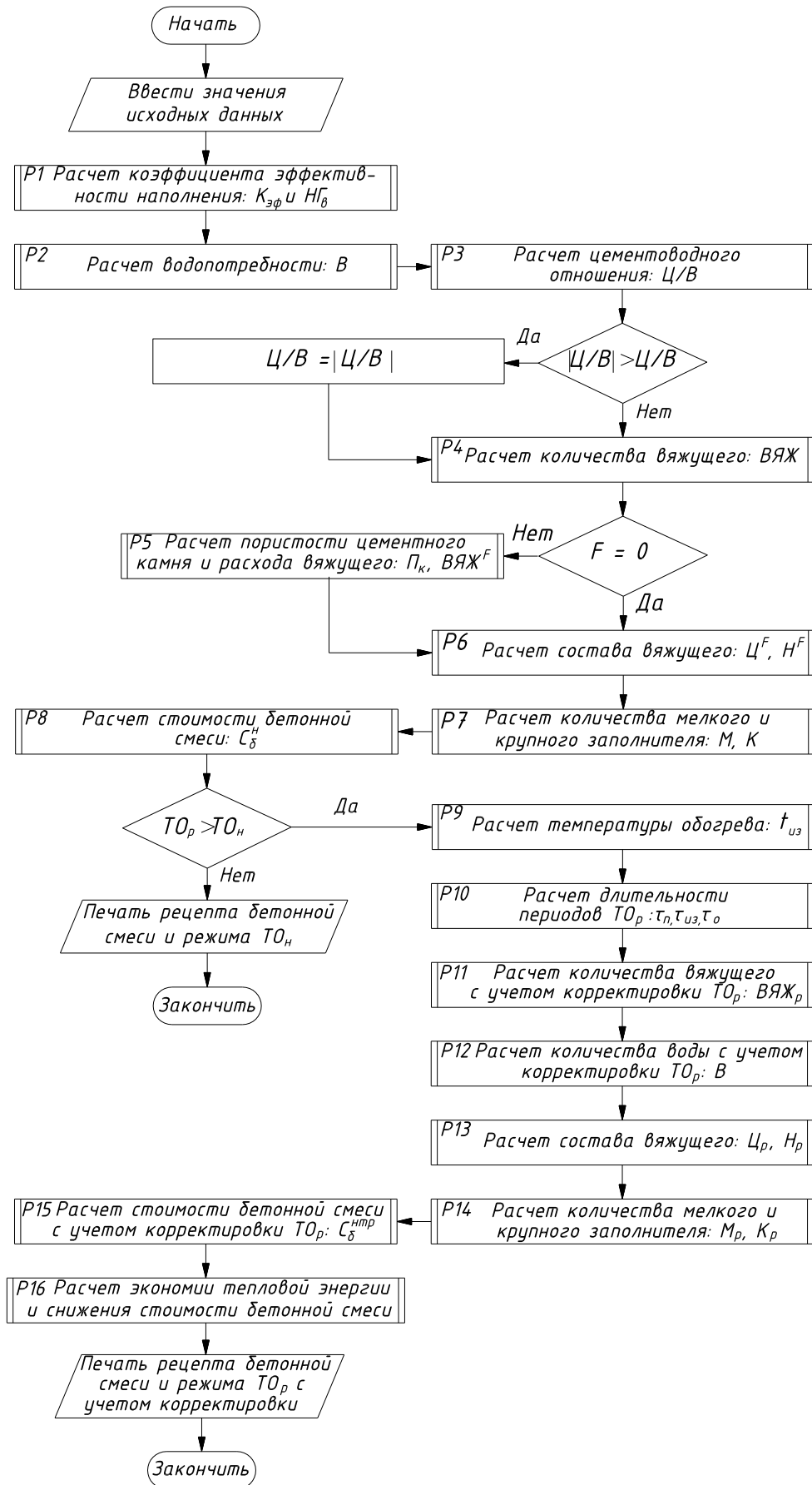


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма расчета состава и стоимости бетона

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

1 ГОСТ 10178-75 Цемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

2 ГОСТ 30515-97 Цементы. Общие технические условия.

3 ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия.

4 ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

5 ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

6 ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и растворов. Технические условия.

7 ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.

8 ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний.

9 ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

10 ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности.

11 ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

В зависимости от показателя удобоукладываемости бетонные смеси подразделяют на марки в соответствии с таблицами А.1 – А.4.

Таблица А.1 – Марки по расплыву конуса

Марка	Расплыв конуса, см
P1	Менее 35
P2	35 – 41
P3	42 – 48
P4	49 – 55
P5	56 – 62
P6	Более 62

Таблица А.2 – Марки по осадке конуса

Марка	Осадка конуса, см
П1	1 – 4
П2	5 – 9
П3	10 – 15
П4	16 – 20
П5	Более 20

Таблица А.3 – Марки по жесткости

Марка	Жесткость, с
Ж1	5 – 10
Ж2	11 – 20
Ж3	21 – 30
Ж4	31 – 50
Ж5	Более 50

Таблица А.4 – Марки по уплотнению

Марка	Коэффициент уплотнения
KУ1	Более 1,45
KУ2	1,45 – 1,26
KУ3	1,25 – 1,11
KУ4	1,10 – 1,04
KУ5	Менее 1,04