

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Донской государственный технический университет»

Кафедра «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для выполнения лабораторных работ
по дисциплине «Ускоренные методы твердения бетона и тепловые установки в
производстве строительных материалов»
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» профиля
«Производство строительных материалов, изделий и конструкций»
очной, заочной и очно-заочной форм обучения

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2022

УДК 666.982.07

Составитель: к.т.н., доц. Л.И. Касторных

Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Ускоренные методы твердения бетона и тепловые установки в производстве строительных материалов». – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2022. – 18 с.

Методические указания регламентируют правила выполнения и оформления лабораторных работ по дисциплине «Ускоренные методы твердения бетона и тепловые установки в производстве строительных материалов». Содержат образцы выполнения технологических расчетов, оформления графических моделей и результатов технических оценок, как в лабораторных условиях, так и в условиях реального производства.

Предназначены для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения направления 08.03.01 «Строительство» профиля «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

УДК 666.982.07

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор канд. техн. наук, доцент А.В. Налимова

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» канд. техн. наук, доцент А. В. Налимова

В печать г.

Формат 60×84/16. Объем 0,9 усл. п. л.

Тираж экз. Заказ №

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Содержание

Введение	4
1 Аналитический обзор	5
2 Материалы и составы бетона	6
3 Эффективность тепловой обработки	9
4 Система назначения энергосберегающих режимов ТО	15
Библиографический список	17
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Распределение цементов по эффективности пропаривания	18
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Значения коэффициента α для подвижных бетонных смесей	18

Введение

Индустриальное производство сборного железобетона предполагает ритмичный режим работы технологического комплекса, который возможно организовать, ускоряя процессы твердения вяжущих и бетонов.

Наиболее эффективным способом интенсификации процессов твердения бетона является тепловая обработка (ТО). Однако наряду с ускорением набора прочности тепловая обработка может вызывать развитие деструктивных явлений, снижающих ряд важнейших физико-механических свойств бетона. Эффект ускоренного твердения бетонных и железобетонных изделий зависит от того, какая группа явлений – конструктивных или деструктивных – будет преобладать в материале при тепловой обработке.

Отличительной особенностью тепловлажностной обработки бетона следует считать то, что она является самым энергоемким переделом в заводской технологии. Поэтому **главная задача технолога** – в конкретных условиях производства определить такие режимы ускоренного твердения бетона, при которых будет обеспечено получение изделий требуемого качества при минимальном расходе тепловой энергии и в экономически оправданные сроки.

Решение поставленной задачи невозможно без знаний о влиянии основных технологических факторов на свойства бетона при тепловой обработке и умений правильно назначать экономически целесообразные параметры ускоренного твердения бетона.

Цель работы – установить влияние температуры и длительности пропаривания на прочность бетона и определить правила оперативного назначения рациональных (энергосберегающих) режимов тепловой обработки изделий в заводских условиях.

1 Аналитический обзор

1.1 В заводских условиях применяются различные способы интенсификации твердения бетона. Наибольшее ускорение твердения бетона достигается при применении комплексных способов, сочетающих физико-механическое, химическое и температурное воздействия. Основным фактором, определяющим кинетику твердения бетона, является температурный, а остальные играют вспомогательную роль. Сроки достижения требуемой прочности при повышении температуры от 20 до 80 °С сокращаются в 8...10 раз, в то время как за счет других технологических приемов только на 10...30 % [1 – 3].

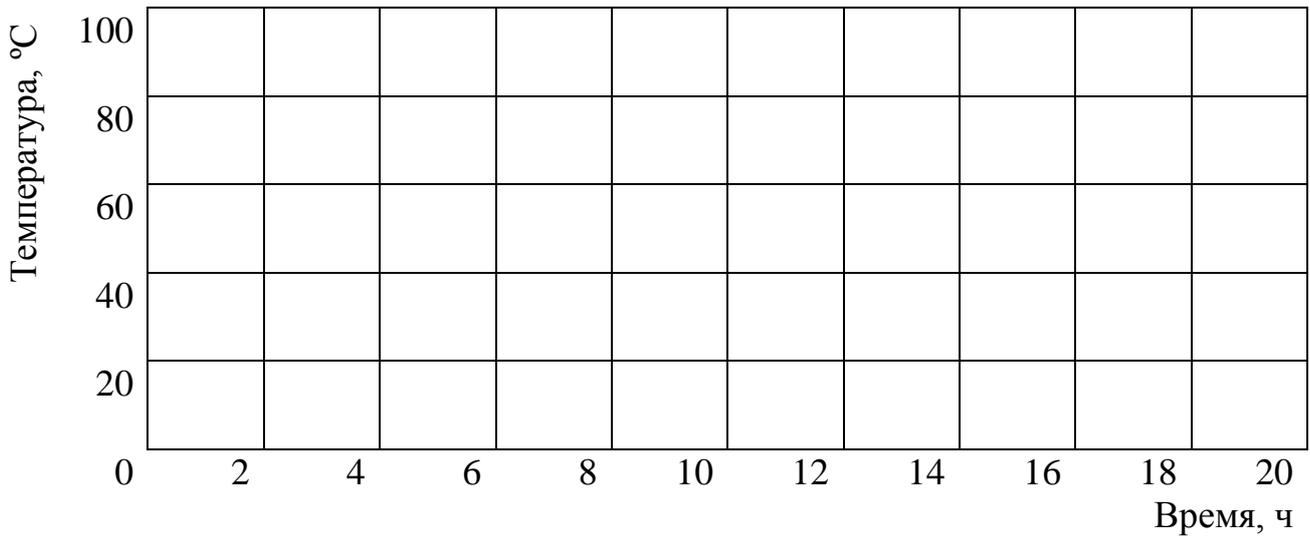
При производстве сборных железобетонных изделий применяют различные способы ТО, отличающиеся видом теплоносителя и условиями теплопередачи твердеющему бетону. При назначении режима тепловой обработки необходимо выбирать такие параметры, при которых бетоном изделий будут достигнуты заданные технические свойства при минимальных затратах и в экономические оправданные сроки.

1.2 В лабораторных исследованиях предусматривается применение двух режимов ТО:

- **нормативный режим ТО** – длительность отдельных периодов и максимальная температура обогрева изделий, при которых бетон в данном тепловом агрегате достигает требуемой прочности при условии непрерывной работы технологической линии;

- **низкотемпературный режим ТО** – длительность отдельных периодов и температура изотермического обогрева изделий, необходимые для достижения бетоном требуемой прочности при увеличении длительности производственного цикла на технологической линии.

Температуру изотермического обогрева для бетона на портландцементе и его разновидностях рекомендуется принимать в интервале 50...80 °С. Расчетные режимы ТО представляются в графической форме (рисунок 1).



1, 2 – режимы тепловой обработки

Рисунок 1 – Режимный график тепловой обработки

2 Материалы и составы бетона

2.1 В экспериментальных исследованиях использованы следующие материалы:

Вяжущее – портландцемент марки

активность $R_y =$

истинная плотность $\rho_{ц} =$

насыпная плотность $\rho_{нц} =$

нормальная густота цементного теста $НГ_{цт} =$

удельная поверхность $S_{уд} =$

минералогическая характеристика:

группа эффективности при пропаривании –

коэффициент эффективности при тепловой обработке $K_n =$

(Распределение цементов по эффективности пропаривания приведено в Приложении А).

Мелкий заполнитель – песок кварцевый карьера

истинная плотность $\rho_n =$

насыпная плотность $\rho_{nm} =$

модуль крупности $M_k =$

пустотность $V_{nm} =$

Крупный заполнитель – щебень;

истинная плотность $\rho_{иц} =$;

насыпная плотность $\rho_{нц} =$;

наибольшая крупность $НК =$;

прочность;

пустотность $V_{нц} =$

Добавка –

Вода – водопроводная чистая без вредных примесей.

2.2 Для оценки влияния параметров тепловой обработки на свойства бетона приготовлены контрольные замесы с расходом вяжущего в интервале 250...400 кг/м³ (таблица 1) при условии получения равноподвижных смесей.

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

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

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

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

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

Коэффициент раздвижки зерен заполнителя α определяется по справочным данным [4] в зависимости от расхода цемента и водоцементного отношения (Приложение Б).

Таблица 1 – Расчет количества материалов

Со- став	Коэффициент раздвижки зе- рен заполнителя α	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг					Плотность смеси теоре- тическая $\rho_{см}$, кг/м ³
		цемент Ц	вода В	щебень Щ	песок П	добавка Д	
1		250	190				
2		300	190				
3		350	190				
4		400	200				

Результаты выполненных расчетов и проведенных испытаний бетонных смесей и бетонов представлены в сводной ведомости (таблица 2).

Таблица 2 – Сводная ведомость результатов испытаний бетона

Состав	Средняя плотность смеси, кг/м ³	ОК, см	Расход материалов на 1 м ³ , кг					Прочность, МПа %			Параметр качества ТО
			Ц	В	П	Щ	Д	R_n	R_n^{28}	R_n^{28}	
1									100		
2									100		
3									100		
4									100		
5									100		
6									100		
7									100		
8									100		

Примечание. R_n - прочность бетона через 1 сутки после пропаривания,
 R_n^{28} - прочность бетона через 28 суток после пропаривания,
 R_n^{28} - прочность бетона через 28 суток нормального твердения.

2.3 Из смеси каждого замеса приготовлены контрольные образцы-кубы с размером ребра 100 мм. Количество образцов в серии установлено из расчета испытаний на сжатие по 3 (2) образца: сразу после пропаривания (по каждому режиму ТВО); в возрасте 28 суток после пропаривания; в возрасте 28 суток после твердения в нормальных условиях (температура среды 20 ± 2 °С и относительная влажность 95...100 %).

Приготовление и испытание бетонных смесей выполнено по стандартной методике ГОСТ 10181, изготовление, хранение и испытание контрольных образцов-кубов – по методике ГОСТ 10180.

3 Эффективность тепловой обработки

3.1 Оценка прочности бетона на сжатие исследованных составов приведена в сводной ведомости (таблица 2), результаты испытаний контрольных образцов-кубов – в таблице 3.

На основании экспериментальных данных построены графические зависимости прочности бетона от режима пропаривания (рисунок 2).



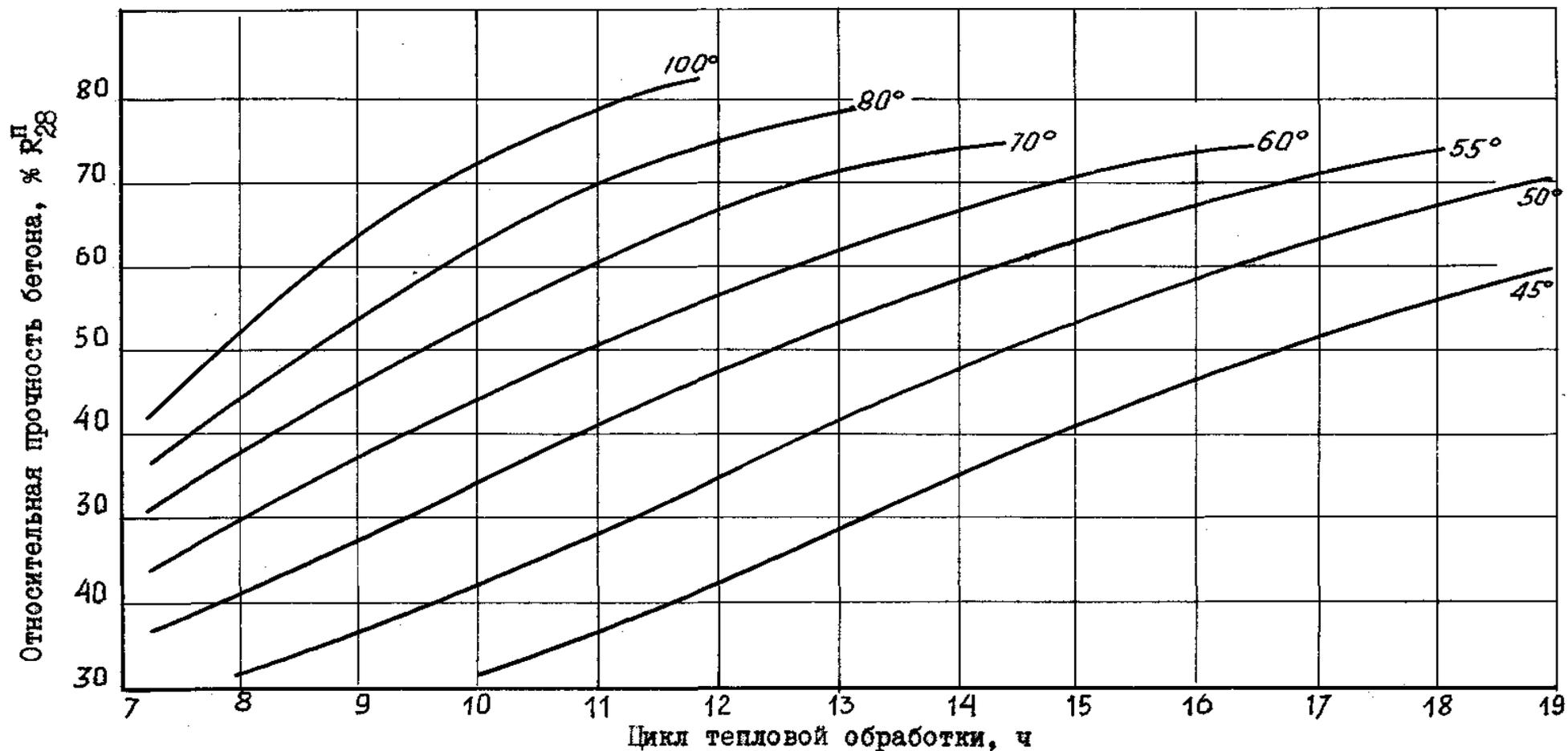
Рисунок 2 – Зависимость прочности бетона от длительности ТВО

При построении зависимости прочности бетона от продолжительности его ускоренного твердения в камере ТО использованы данные об интенсивности нарастания прочности бетона при различных температурах (рисунок 3).

3.2 Для определения влияния параметров тепловлажностной обработки на прочность бетона рассчитывается параметр качества ТО:

$$ПК_{ТО} = (R_n^{28} - R_n^{28}) / R_n^{28}. \quad (4)$$

Отрицательная величина параметра качества ТО свидетельствует о негативном влиянии ускоренного твердения на структурно-механические характеристики бетона.



Цифры у кривых соответствуют режимам тепловой обработки:

100°C - (4+τ+2); 80°C - (3+τ+2); 70°C - (2,5+τ+1,5); 60°C - (2+τ+1,5); 55°C - (1,5+τ+1,5); 50°C - (1,5+τ+1); 45°C - (1+τ+1), где τ – длительность изотермического обогрева, ч, определяемая по условию: $\tau = TP - (\tau_{п} + \tau_{о})$

Рисунок 3 – Прочность тяжелого бетона на портландцементе после тепловой обработки

Положительная величина PK_{TO} указывает о наличии в составе цемента активной минеральной добавки, которая повышает потенциал вяжущего и способствует увеличению прочности пропаренного бетона.

3.3 Результаты анализа и обработки экспериментальных данных являются исходным материалом для вывода аналитических зависимостей:

температуры пропаривания от длительности тепловой обработки

$$t_{из} = f(\tau_{mo}),$$

рабочего расхода цемента от длительности тепловой обработки

$$Ц_p = \varphi(\tau_{mo}).$$

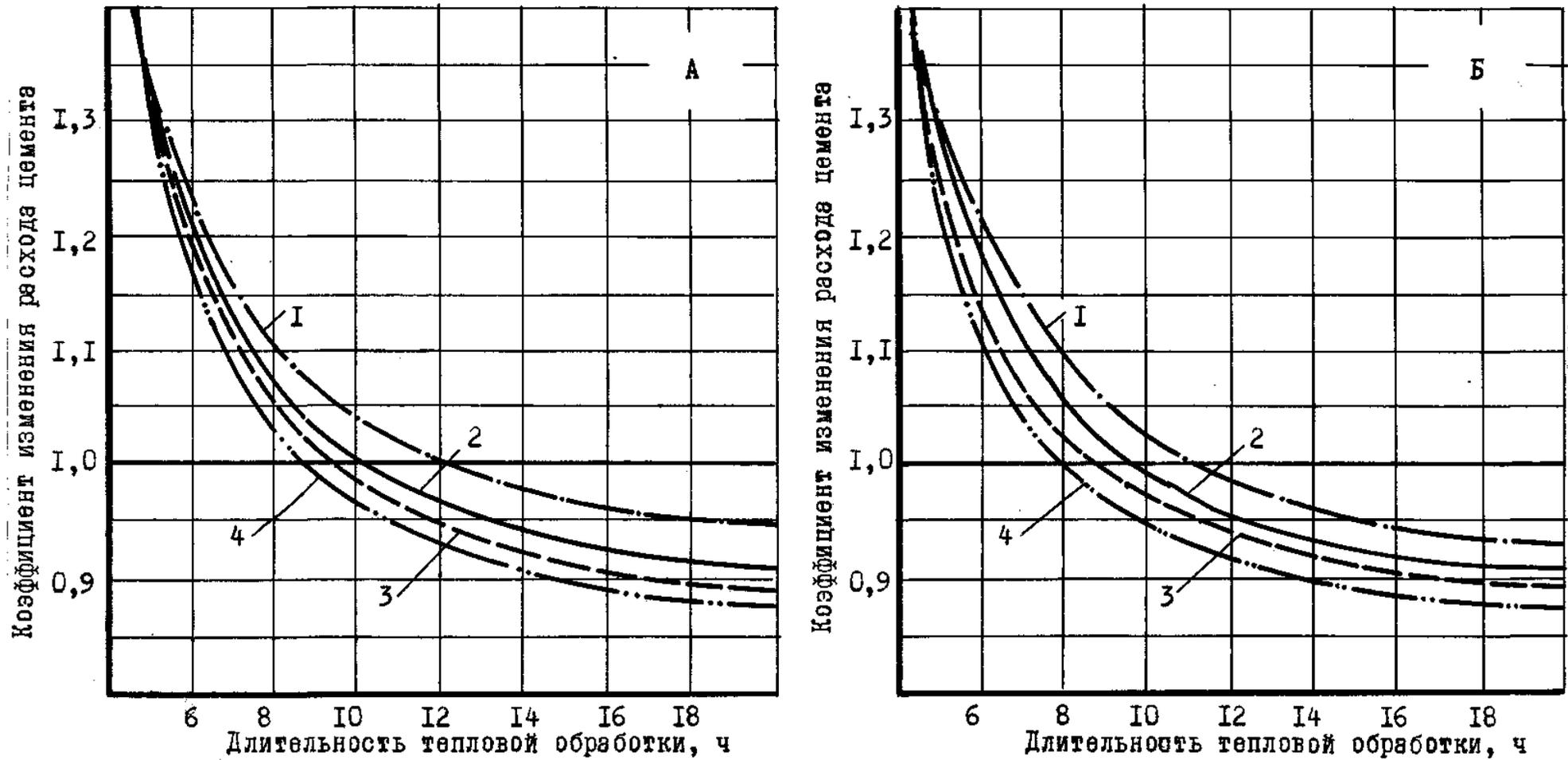
Исходная информация и результаты выполняемых расчетов приведены в табличной форме (таблица 4).

Таблица 4 – Определение расчетных величин параметров тепловой обработки

Температура изотермического обогрева $t_{из}$, °C (y_1)	Требуемая длительность ТВО τ_{mo} , ч (x)	Коэффициент изменения расхода цемента K_y (y_2)	Расход цемента расчетный $Ц_p$, кг	Расчетная формула
80				$y_1 = A \cdot x^{-a}; t_{из} = A \cdot \tau_{mo}^{-a}$
70				
60				$Ц_p = Ц_n \cdot K_y$ $y_2 = B \cdot x^{-b}; K_y = B \cdot \tau_{mo}^{-b}$
50				
40				

Примечание. Для бетона определенного класса величина K_y устанавливается по графической зависимости коэффициента от длительности тепловой обработки (рисунок 4)

В результате аппроксимации расчетных величин, выполненной с помощью программ *Mikrosoft Excel*, получены графические зависимости в виде степенных функций (рисунки 5 и 6). Эти зависимости могут использоваться на технологической линии при назначении энергосберегающих режимов ТО.



А - бетон без добавок; Б - бетон с добавкой ускорителя твердения; 1, 2, 3, 4 – соответственно бетон класса В15, В25, В30, В40

Рисунок 4 – Влияние длительности тепловой обработки на расход цемента в бетоне

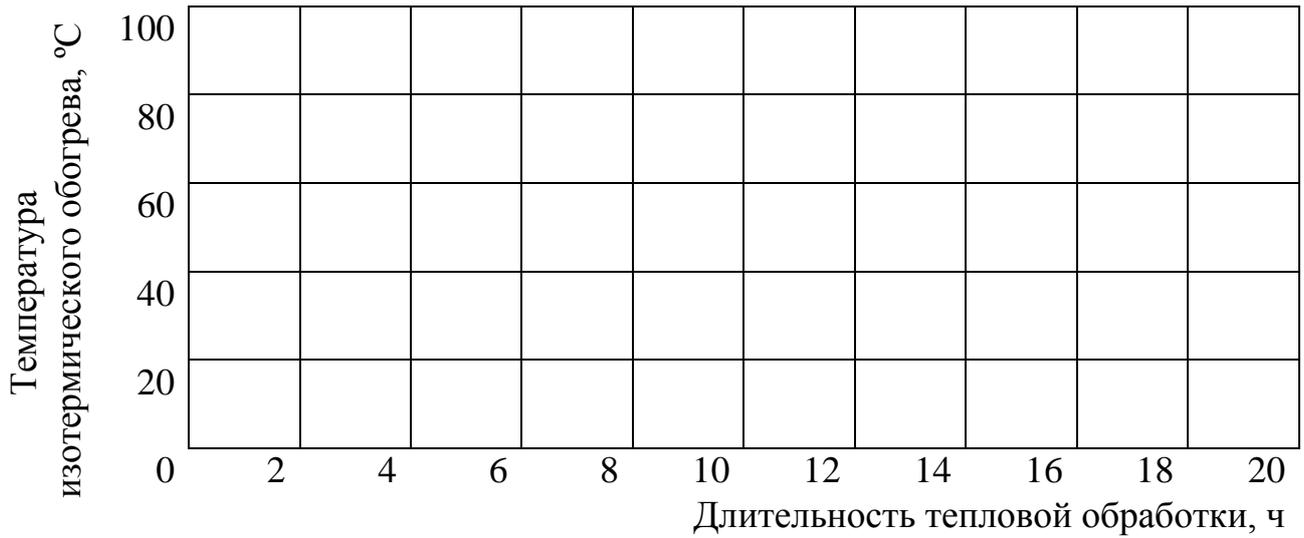


Рисунок 5 – Зависимость температуры изотермического обогрева бетона от продолжительности тепловой обработки

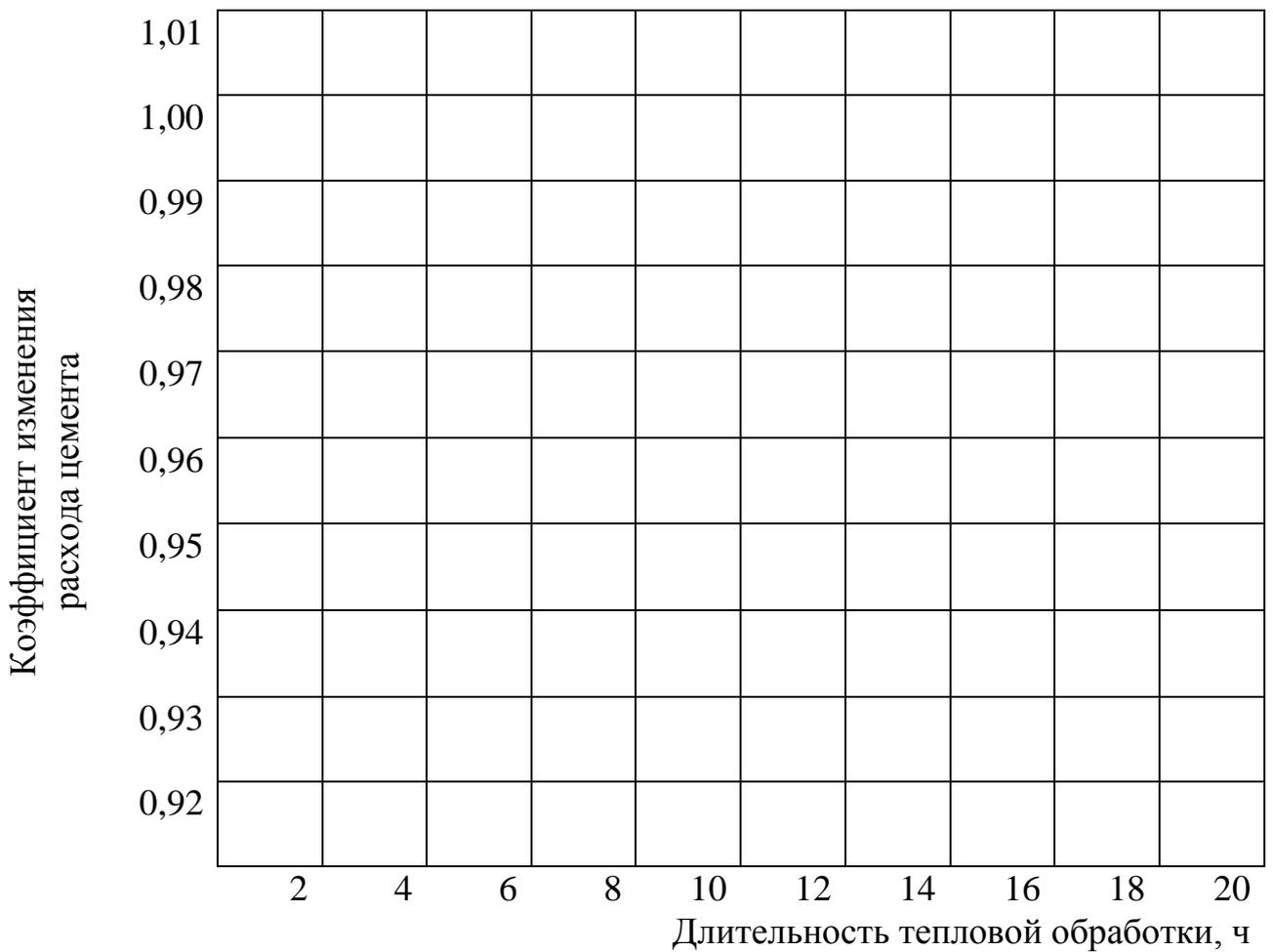


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента изменения расхода цемента от продолжительности тепловой обработки

4 Система назначения энергосберегающих режимов ТО

4.1 Применение низкотемпературных режимов тепловой обработки позволяет получить изделия с требуемой прочностью при меньших расходах тепловой энергии. Одновременно с экономией тепла на предприятии такие режимы обеспечивают снижение расхода цемента.

Блок-схема алгоритма расчета экономии тепловой энергии и цемента приведена на рисунке 7.

На первом этапе на технологическом комплексе перед началом формования и загрузки теплового агрегата по суточному графику его работы (за прошедший период) определяют наличие резервного времени T_p (блок 1). Полученное значение резервного времени сравнивают с длительностью нормативного режима тепловой обработки T_n (блок 2).

Если в данном агрегате время до начала следующего цикла ТО равно продолжительности режима пропаривания, то изделия пропаривают по нормативному режиму (блок 8).

На следующем этапе – при наличии резерва времени, когда новый цикл работы теплового агрегата начинается позже окончания нормативного режима – определяют параметры низкотемпературного режима $\tau_{нmp}$. При этом такой режим должен удовлетворять следующим требованиям:

- длительность пребывания изделий в тепловом агрегате не должна превышать величину резервного времени;
- тепловое воздействие должно обеспечить достижение бетоном требуемой отпускной прочности.

Максимальная температура обогрева изделий (блок 3) устанавливается в зависимости от длительности удлиненного режима ТО по условию: $t_{из} = A \cdot \tau_{нmp}^{-a}$ (таблица 4).

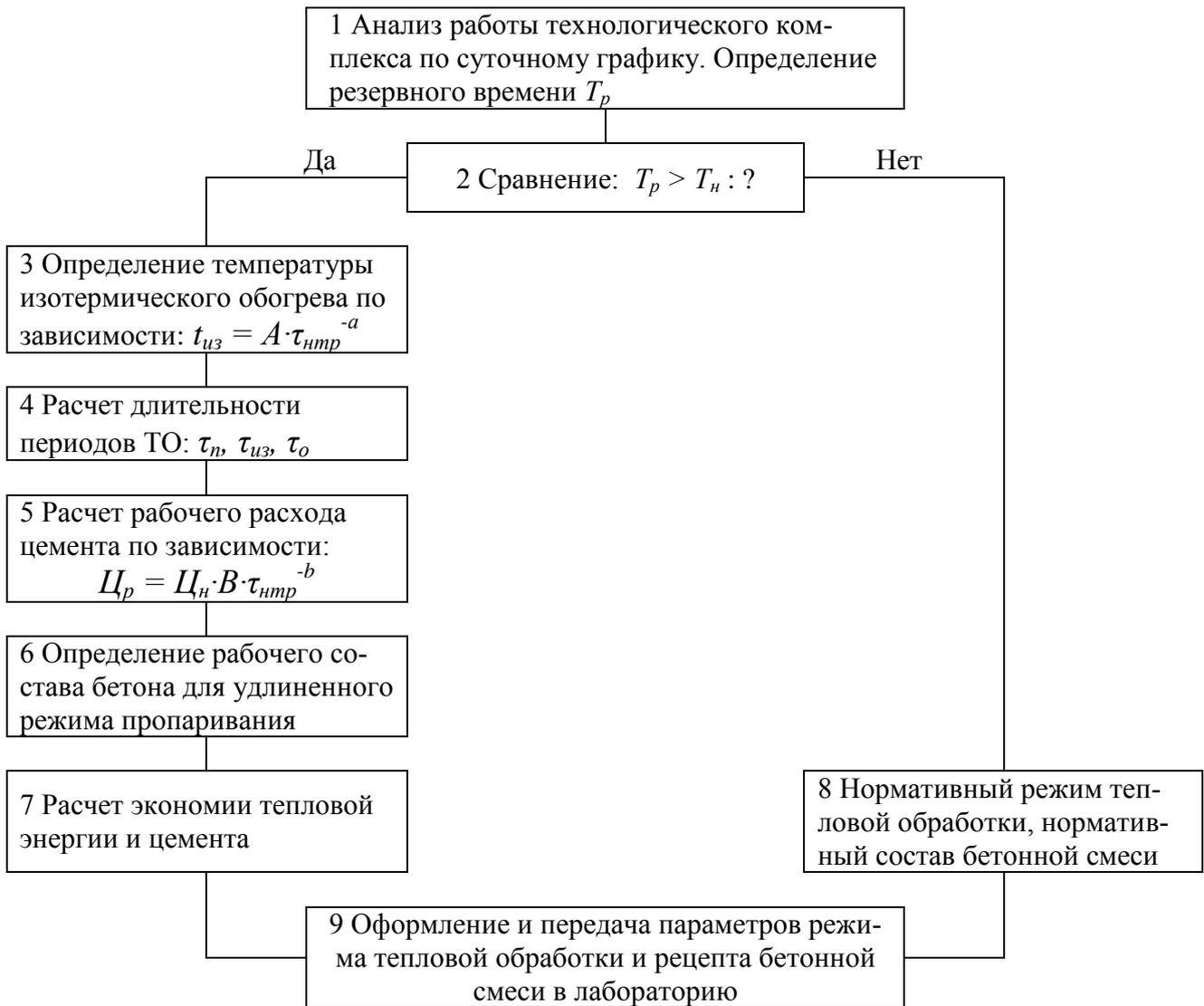


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма расчета экономии тепловой энергии и цемента

Длительность отдельных периодов низкотемпературного режима тепловой обработки (блок 4) можно принимать либо по данным рисунка 3, либо рассчитывать по формулам:

- длительность периода подогрева изделий, ч:

$$\tau_n = (t_{из} - 20)/v; \quad (5)$$

- длительность изотермического обогрева изделий, ч:

$$\tau_{из} = \tau_{нтр} - 1,66 \tau_n; \quad (6)$$

- длительность периода остывания изделий в камере, ч:

$$\tau_o = 0,66\tau_n, \quad (7)$$

где v – скорость подъема температуры среды в камере, °С/ч.

Расчет рабочего расхода цемента (блок 5) также выполняется в зависимости от длительности низкотемпературного режима по условию: $C_p = C_n \cdot B \cdot \tau_{нмр}^{-b}$ (таблица 4).

Далее в связи с изменением расхода цемента выполняется перерасчет состава бетонной смеси при условии постоянства цементоводного отношения и сохранения требуемой марки смеси по удобоукладываемости (блок 6).

На заключительном этапе (блок 7) рассчитывается экономия тепловой энергии и цемента при использовании низкотемпературного режима ТО.

После выполнения всех расчетов результаты передаются в заводскую лабораторию для корректировки составов бетона и режимов ТО на технологическом комплексе (блок 9).

Библиографический список

1 Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Магдеев У.Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций: Учебник для вузов. – М.: АСВ, 2004. – 256 с.

2 Касторных Л.И. Проектирование предприятий по производству товарного бетона и сборного железобетона. Часть I: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. – 130 с.

3 Касторных Л.И. Проектирование предприятий по производству товарного бетона и сборного железобетона. Часть II: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. – 171 с.

4 Производство сборных железобетонных изделий: Справочник/ Бердичевский Г. И., Васильев А.П., Малинина Л.А. и др./ Под ред. К. В. Михайлова, К.П. Королева.-2-е изд. перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1989. – 447 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Распределение цементов по эффективности пропаривания

Группа по эффективности пропаривания	Тип цемента	Предел прочности при сжатии после пропаривания, МПа (кгс/см ²), для цемента марок			
		300	400	500	550-600
1	ПЦ	Более 23 (230)	Более 27 (270)	Более 32 (320)	Более 38 (380)
	ШПЦ	Более 21 (210)	Более 25 (250)	Более 30 (300)	—
2	ПЦ	От 20 до 23 (от 200 до 230)	От 24 до 27 (от 240 до 270)	От 28 до 32 (от 280 до 320)	От 33 до 38 (от 330 до 380)
	ШПЦ	От 18 до 21 (от 180 до 210)	От 22 до 25 (от 220 до 250)	От 26 до 30 (от 260 до 300)	—
3	ПЦ	Менее 20 (200)	Менее 24 (240)	Менее 28 (280)	Менее 33 (330)
	ШПЦ	Менее 18 (180)	Менее 22 (220)	Менее 26 (260)	—

Примечание. Для портландцемента и шлакопортландцемента режим пропаривания принят одинаковым в соответствии с ГОСТ 310.4: общая продолжительность 12—13 ч при температуре 80 °С.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Значения коэффициента α для подвижных бетонных смесей

(водопотребность песка 7 %)

Расход цемента, кг/м ³	при В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,30	1,36	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,40	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	1,56	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

Примечания. 1 При других Ц и В/Ц коэффициент α находят интерполяцией.
2 Если водопотребность используемого мелкого песка более 7 %, коэффициент α уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения водопотребности песка; если водопотребность крупного песка менее 7 %, коэффициент α увеличивают на 0,03 на каждый процент уменьшения водопотребности песка.