

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

А.И. Гныря, С.В. Коробков

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

Учебное пособие

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебного
пособия для студентов, обучающихся по направлению 270100
«Строительство» по специальности 270102 «Промышленное
и гражданское строительство»*

Томск
Издательство ТГАСУ
2011

УДК 693.547.3(075.8)

ББК 38.626.1я73

Г 56

Гныря, А.И. Технология бетонных работ в зимних условиях [Текст] : учеб. пособие / А.И. Гныря, С.В. Коробков. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 412 с. – ISBN 978-5-93057-400-5.

В учебном пособии рассмотрены вопросы технологии бетонирования методом термоса, бетонирования с химическими добавками, а также методом искусственного прогрева. Даны указания по проектированию технологии бетонных работ в зимних условиях. Главное внимание уделено материалу по технологии бетонных работ в зимних условиях. Даны основы теории зимнего бетонирования, описано влияние отрицательной температуры на формирование структуры и твердение бетона.

Пособие может быть использовано студентами Института заочного и дистанционного обучения, Института непрерывного образования ТГАСУ, а также инженерно-техническими работниками строительной отрасли при повышении квалификации.

Пособие соответствует требованиям ФГОС ВПО для дисциплин «Технология строительного производства», «Технология возведения зданий» и «Спецкурс по ТСП» по направлению подготовки бакалавров и магистров по специальности 270800 «Строительство» и профилю подготовки «Промышленное и гражданское строительство».

Табл. 99. Ил. 51

Рецензенты:

А.А. Афанасьев, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология строительного производства» МГСУ;

В.М. Митасов, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Железобетонные конструкции» НГАСУ (Сибстрин);

В.С. Воробьев, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология, организация и экономика строительства» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС);

М.М. Титов, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технология строительного производства» НГАСУ (Сибстрин).

ISBN 978-5-93057-400-5

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2011

© А.И. Гныря,
С.В. Коробков, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. Основы теории зимнего бетонирования	7
1.1. Фазовые превращения воды при различных температурах	7
1.2. Влияние отрицательной температуры на формирование структуры и твердение бетона.....	14
1.3. Материалы для бетонов	27
1.4. Подбор состава бетона	45
1.5. Приготовление бетонной смеси	58
1.6. Транспортирование бетонной смеси	62
1.7. Укладка бетонной смеси.....	83
2. Технология бетонирования с применением метода термоса	103
2.1. Основные положения	103
2.2. Область применения	104
2.3. Теплопотери бетонной смеси	111
2.4. Аккумуляция тепла телами, соприкасающимися с бетоном	114
2.5. Влияние температуры на нарастание прочности бетона	116
2.6. Определение времени остывания бетона на морозе	122
3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок	124
3.1. Сущность бетонирования с применением противоморозных добавок.....	124
3.2. Набор прочности бетона с противоморозными добавками	128
3.3. Определение расчетной температуры твердения бетона и толщины утеплителя изделий и конструкций	131
3.4. Подбор состава и приготовление водных растворов добавок для бетонов	138
3.5. Выдерживание бетона и уход за ним	144
3.6. Контроль за качеством бетона с противоморозными добавками	147
3.7. Техника безопасности при производстве бетонных работ с противоморозными добавками	150
4. Технология производства бетонных работ с применением методов искусственного прогрева	154
4.1. Общие положения.....	154
4.2. Электродный метод прогрева бетона	159
4.3. Инфракрасный нагрев в технологии бетонных работ.....	178
4.4. Индукционный прогрев монолитных железобетонных каркасных конструкций	200
4.5. Электроразогрев бетонной смеси.....	220

4.6. Прогрев бетона греющими изолированными проводами	241
5. Методические указания по проектированию технологии	
бетонных работ в зимних условиях.....	280
5.1. Исходные данные	280
5.2. Выбор основных методов зимнего бетонирования.....	281
5.3. Объем работ и калькуляция трудовых затрат	283
5.4. Расчет времени остывания и набора прочности бетона.....	285
5.5. Определение потребности в материалах энергии и трудозатратах.....	292
5.6. Стройгенплан объекта	295
5.7. Календарный график производства работ.....	295
5.8. Материально-технические ресурсы	295
5.9. Указания по технологии бетонных работ	296
5.10. Техника безопасности.....	297
5.11. Техничко-экономические показатели	297
Список рекомендуемой литературы.....	298
Приложение 1.....	304
Приложение 2.....	307
Приложение 3.....	388
Приложение 4.....	401
Приложение 5.....	409

ВВЕДЕНИЕ

Огромные масштабы строительства в нашей стране, особенно в быстроразвивающихся нефтегазоносных районах России, предъявляют повышенные требования к строительным материалам, ведущее место среди которых по-прежнему занимают бетон и железобетон. На сегодняшний день такими районами являются Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Крайний Север и др.

Бетон – универсальный строительный материал, объемы производства которого из года в год растут и по стоимости приближаются к 40 % всех общестроительных работ. Однако процесс изготовления сборных железобетонных изделий и бетонирования монолитных конструкций весьма длителен, трудоемок и дорог. В производстве сборного и монолитного бетона наиболее длительным технологическим процессом является выдерживание отформованных конструкций. В зависимости от требуемой прочности продолжительность его при нормальной температуре колеблется от 7 до 28 суток. Сокращение времени набора прочности является неременным условием любой технологии производства бетонных работ, так как длительное твердение бетона стало несовместимым с существующими темпами строительства. Необходимо также отметить, что производство 1 м³ бетона в зимних условиях на 40–50 % дороже, чем в летних.

Обеспечение высоких темпов строительства, повышение качества и снижение себестоимости производства бетонных работ в зимних условиях потребовало от строителей совершенствования старых методов зимнего бетонирования и разработки новых, с более высокими экономическими показателями.

В настоящее время нормативными документами Росстроя Минрегионразвития России узаконено 5 групп методов производства бетонных работ в зимних условиях: метод термоса, бетонирование с применением противоморозных добавок, электротермообработка монолитных бетонных и железобетонных

конструкций, обогрев железобетонных конструкций в тепляках и паропрогрев бетонных и железобетонных конструкций.

Структура учебного пособия выстроена следующим образом.

Учебное пособие состоит из пяти глав:

В первой главе отражены вопросы теории зимнего бетонирования, влияния отрицательной температуры на формирование структуры и твердение бетона, а также дается подбор состава бетона, рассматривается процесс его приготовления, транспортирования и укладки.

Вторая, третья и четвертая главы посвящены вопросам технологии бетонирования с применением метода термоса, бетонирования с химдобавками и методом искусственного прогрева.

Пятая глава содержит указания по проектированию технологии бетонных работ в зимних условиях.

В процессе работы над учебным пособием авторы использовали действующие нормативные документы строительной отрасли России, исследования ведущих ученых страны по вопросам зимнего бетонирования: А.С. Арбеньева, С.С. Атаева, А.А. Афанасьева, И.Н. Ахвердова, Ю.М. Баженова, Я.Р. Бессера, С.Г. Головнева, А.И. Гныри, В.Я. Гендина, Н.Н. Данилова, И.Б. Заседателя, В.И. Зубкова, В.А. Злодеева, Б.А. Крылова, Б.М. Красновского, Л.М. Колчеданцева, В.П. Лысова, А.В. Лагойда, А.И. Ли, С.А. Миронова, Л.А. Малининой, А.А. Соловьянчика, Б.Г. Скрамтаева, М.М. Титова, В.Д. Топчева, а также работы иностранных ученых, таких как Д. Алекса, С. Берстрем, Н. Богал, А. Брунд, Х. Болин, Я. Ичики, И. Итакура, Я. Когур, А. Мигул, А. Нюканен и др.

Авторы приносят благодарность рецензентам: профессорам А.А. Афанасьеву, В.М. Митасову, В.С. Воробьеву, М.М. Титову за отзывы на учебное пособие, конструктивные предложения и замечания.

1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ

1.1. Фазовые превращения воды при различных температурах

1.1.1. Общие положения

Бетонами называют искусственные каменные материалы, получаемые в результате твердения тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества с водой, мелкого и крупного заполнителей, взятых в определенных пропорциях. Активной составляющей бетона (до затвердения ее называют бетонной смесью) является цементный камень (цемент, вода), который играет основную роль в формировании его структуры и прочности, а также морозостойкости и водонепроницаемости.

Между цементом и заполнителем обычно не происходит химического взаимодействия (исключение составляет силикатный бетон, полученный автоклавной обработкой). Однако они существенно влияют на физико-механические свойства бетона.

В качестве заполнителей зачастую применяют местные горные породы, песчано-гравийные смеси из русла рек, отходы производства и т. д. Использование местных материалов в качестве заполнителей обеспечивает снижение стоимости бетона, так как заполнитель и вода составляют от общей массы бетона 85–90 %.

На формирование физико-механических свойств цементного камня оказывают влияние следующие основные факторы: свойства цемента, соотношение между водой и цементом (В/Ц), вводимые добавки, степень уплотнения бетона, режим тепло-влажностной обработки.

В настоящее время ученые и строители свободно управляют процессами схватывания и твердения бетонов, так как знают минералогический состав и тонкость помола цемента, необходимую температуру и вводимые добавки. Производство

бетонных работ в зимних условиях требует от инженерно-технических работников глубоких знаний в теории гидратации цемента и твердения бетонов.

Прежде чем приступить к рассмотрению методов производства бетонных работ в зимних условиях и их технико-экономического обоснования, необходимо ознакомиться с вопросами теории и технологии зимнего бетонирования.

1.1.2. Основные свойства и классификация связей воды

Вода в природе находится в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. Температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении равняется 100°C , а температура плавления льда 0°C . Удельная теплота плавления льда составляет 333,6 Дж, следовательно, такое количество тепла выделяет 1 кг воды при замерзании, а при оттаивании поглощает. Плотность воды принимается за единицу при 4°C . Вода в природе переходит при определенных условиях из одной фазы в другую скачкообразно. При этом меняется ее внутреннее строение и все связанные с этим характеристики и физические свойства.

Фазовые переходы воды (кристаллизация, плавление, сублимация, кипение, конденсация и испарение) связаны с выделением или поглощением тепла. Поскольку вода является составной частью бетона, указанные свойства надо учитывать в процессе приготовления, транспортирования, укладки и тепловой обработки бетонной смеси, а также при эксплуатации бетонных изделий и конструкций.

При производстве бетонных работ в зимних условиях необходимо тщательно изучать фазовое превращение воды и разрабатывать мероприятия, обеспечивающие нормальный термовлажностный режим. Состояние воды, находящейся в бетоне, во многом определяет процесс гидратации минералов цемента и твердения его с течением времени. Рассчитывая время осты-

вания изделий и конструкций на морозе, необходимо вести учет теплоты плавления и кристаллизации льда.

Вода, содержащаяся в растворе, а затем и в бетоне, классифицируется по-разному. А.В. Лыков воду подразделяет на физико-механически, физико-химически и химически связанную (в зависимости от степени энергии связи). Т. Пауэрс разделяет воду на химически связанную и физически адсорбированную на поверхности геля.

Физико-механически связанная вода – это вода, находящаяся в щелевых порах, а также в микро- и макрокапиллярах цементного камня. Количественное содержание ее зависит от влажности и температуры окружающей среды.

Воду можно удалить при нагревании цементного камня до температуры 105 °С. Механически связанная вода сохраняет свои обычные свойства.

Физико-химически связанная вода – это вода, которая адсорбируется на поверхности частиц, образующихся в результате гидратации и гидролиза цемента. Вода в таком состоянии поддерживается за счет молекулярного силового поля. В зависимости от температуры она подвержена фазовому переходу, но этот процесс протекает несколько иначе, чем в физико-механически связанной воде.

Вода может выпариваться из кристаллической решетки, а затем снова поглощаться ею при попадании во влажную среду.

Объем воды в бетоне условно можно принять равным объему пор капилляров, содержащихся в смесях различного вида.

При отрицательной температуре в бетонной смеси вода начинает замерзать, но не сразу переходит в твердое состояние. Она частично остается в жидкой фазе в виде пленок на внутренних поверхностях капилляров, а также в гелях даже при весьма низких температурах. Так, по данным профессора Т. Пауэрса, в цементной пасте при $t = -0,5$ °С образуется до 21 % льда, а при понижении температуры до -4 °С процентное содержание льда увеличивается до 60 %. В то же время значи-

тельная часть воды в жидкой фазе сохраняется даже при температуре от -40 до -60 °С.

В 80-е годы в НИИЖБе Госстроя СССР под руководством проф. С.А. Миронова в лаборатории ускорения твердения бетона были проведены исследования льдистости (процентное отношение количества льда к массе химически несвязанной воды) в цементных пастах, растворах, бетонах разного состава калориметрическим методом. В табл. 1 приведены данные об уменьшении количества льда с увеличением возраста бетона. В качестве вяжущего применялся портландцемент марки 400, а заполнителей – гранитный щебень и песок. Льдистость определялась в зависимости от понижения температуры и прочности в % от R_{28} .

Таблица 1

**Содержание льда в тяжелом бетоне,
замороженном в различном возрасте**

Температура, °С	Льдистость бетона, %				
	замороженного сразу после укладки	замороженного при прочности, %, от R_{28}			
		15	50	70	100
–3	91	43	20	14	10
–5	92	58	27	22	18
–10	92	66	42	38	33
–15	93	73	58	44	41
–20	94	74	63	49	43
–30	96	78	65	54	49
–45	97	87	68	57	52

Как видно из табл. 1, на процесс льдообразования большое влияние оказывает время предварительного выдерживания бетона до замораживания, т. е. набор определенной прочности. В бетонной смеси, подвергнутой замораживанию без предварительного выдерживания, большая часть воды (91 %) переходит в лед уже при температуре -3 °С, а при температуре от 0 до -2 °С

вода длительное время может находиться в незамерзшем переохлажденном состоянии. Количество льда, образовавшегося при температуре $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, не превышает 20 % от воды затворения. Этим можно объяснить твердение бетона при небольших отрицательных температурах. Наличие воды в жидкой фазе способствует гидратации цемента, но при замерзании может стать причиной разрушения бетона. Как видно из табл. 1, основная масса льда образуется при понижении температуры от -5 до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Интенсивное льдообразование происходит в основном за счет замерзания механически связанной воды. При дальнейшем понижении температуры от -10 до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ количество замерзшей воды увеличивается незначительно. В это время происходит замерзание уже в более мелких капиллярах диаметром менее $0,1\text{ мк}$.

На рис. 1 графически отражен процесс льдообразования свежесформованного цементного теста, а также контрольных образцов, выдержанных в течение 24 часов в нормальных условиях твердения. В данном опыте был использован цемент Белгородского завода.

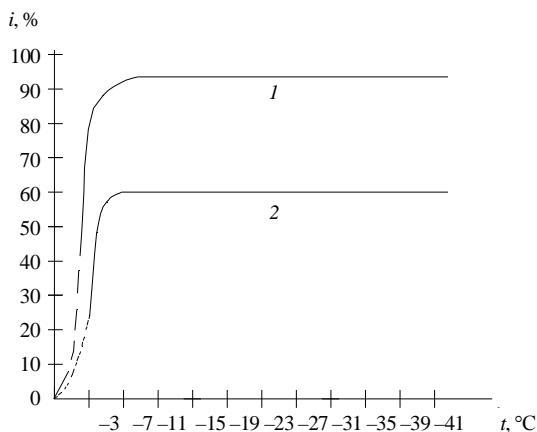


Рис. 1. Изменение льдистости цементного теста:

1 — в свежесформованном состоянии; 2 — в суточном возрасте

Как видно из рис. 1, льдообразование увеличивается с понижением температуры. При этом у образцов, замороженных в первые часы, большая часть воды переходит в лед при температуре ниже $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а у замороженных через 24 ч нормального твердения – при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, интенсивное льдообразование происходит в интервале температур от -2 до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в основном за счет замерзания физико-механически связанной воды в порах радиусом более $0,1\text{ мк}$. Дальнейшее понижение температуры от -10 до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ не дает столь значительного увеличения льдообразования. Вода замерзает уже в капиллярах диаметром менее $0,1\text{ мк}$.

Большое влияние на льдистость оказывают время твердения бетона до начала замерзания, степень гидратации цемента и водоцементное отношение.

Процесс гидратации цемента и твердения бетона при отрицательной температуре в первую очередь связан с кинетикой фазовых изменений в процессе замерзания и оттаивания воды. Экзотермическая реакция гидратации цемента и соответственно структурообразование бетона на морозе являются следствием содержания воды в жидкой фазе.

Выбор метода производства бетонных работ при переменных положительных и отрицательных температурах с учетом набора прочности бетона остается весьма сложной задачей. В каждом отдельном случае необходимо учитывать целый комплекс факторов, влияющих на тепло- и массообменные процессы, протекающие в бетоне.

Так, с понижением температуры химическая активность воды падает, замедляется движение молекул. Вода, имеющая температуру $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, не сразу переходит в лед. Сначала повышается ее вязкость, и в таком переохлажденном состоянии она сохраняется ниже критической точки.

Э.Х. Булгаков выдвинул следующую гипотезу: вода, подвергнутая кипячению в течение 2–3 часов, обеспечивает повышение прочности бетона на шлакопортландцементе, но снижает

прочность на глиноземистом цементе. Он объясняет эту зависимость изменением структуры молекул воды при ее термообработке. В НИИЖБе эта теория была экспериментально проверена на трех цементах с использованием различного вида воды. Так, были использованы цемент глиноземистый, портландцемент Белгородского завода и шлакопортландцемент. Вода применялась кипяченая, дистиллированная, из растаявшего льда и водопроводная. Прочность бетона исследовалась в возрасте 7 и 28 суток.

Проведенные эксперименты не подтвердили гипотезу о влиянии термообработанной воды на прочность бетона и раствора. Не было сделано каких-либо определенных выводов и по поводу использования дистиллированной воды, а также воды из растаявшего льда.

Обобщая проделанную работу, проф. С.А. Миронов отметил, что влияние термообработки воды на прочность бетона в опытах не выявилось.

В середине 1970-х годов в научных сборниках и журналах стали появляться статьи о повышении прочности бетонов, затворяемых на воде, подвергнутой магнитной обработке. Лабораторные исследования проводились в Московском государственном университете, в ЦНИИОМТПе и НИИЖБе Госстроя СССР, Краснодарском, Пермском, Новочеркасском политехнических институтах, в Минском институте тепло- и массообмена и др. Однако теория воздействия намагниченной воды, применяемой при изготовлении бетона, никем не разработана.

Исследования, проводимые в НИИЖБе и некоторых других организациях, показали, что магнитная вода не оказывает прямого воздействия на прочность бетона. Поэтому С.А. Миронов считает, что от использования магнитной воды для затворения бетона в производственных условиях следует воздержаться, а разработанные рядом организаций инструкции и временные указания по данному вопросу являются преждевременными.

1.2. Влияние отрицательной температуры на формирование структуры и твердение бетона

Рассмотрим влияние отрицательной температуры на структуру и твердение бетона, не останавливаясь на вопросах формирования микроструктуры цементного камня в процессе гидратационного твердения при положительных и отрицательных температурах.

С понижением температуры (отрицательной) процентное содержание льда в твердеющем цементном камне увеличивается, а жидкости – уменьшается. В этот момент в бетоне происходят структурные изменения, прежде всего, за счет увеличения объема воды, переходящей в лед. Замерзая в бетоне, вода увеличивается в объеме приблизительно на 9 % и этим самым создает внутрипоровое давление. Цементный камень по мере формирования прочной кристаллизационной структуры приобретает способность сопротивляться этому давлению. Твердая фаза новообразований увеличивается в объеме, а жидкая соответственно уменьшается. Формирующая структура новообразований сохраняется, так как контракционные поры в гелях этому благоприятствуют, вызывая деформации не расширения, а сжатия.

Выясним, что входит в понятие структуры бетона. Разные авторы вкладывают в него различный смысл. Одни все сводят к фазовому составу новообразований, другие рассматривают количество пор и капилляров, а также их распределение по телу бетона, третьи – плотность упаковки всех составляющих и равномерность их распределения.

В работах Т.К. Пауэрса, Б.Г. Скрамтаева и Г.И. Горчакова отмечается непостоянство структуры бетона и изменение ее за счет физико-химических процессов, а также нагрузок и факторов окружающей среды.

Высокие физико-механические свойства бетона можно получать в том случае, когда научимся управлять процессом

структурообразования бетона еще на стадии его твердения. На процесс формирования структуры в ранней стадии большое влияние оказывает объемное изменение составляющих бетона под воздействием факторов окружающей среды. Объемные изменения особенно заметны при перепадах положительных и отрицательных температур. В основном эти изменения проявляются за счет расширения воды затворения.

На ранней стадии твердения бетона имеет место проявление деструктивных процессов за счет расширения ряда составляющих при нагреве и замерзании. Высокая температура тепловой обработки бетона приводит к увеличению внутрипорового давления, вызывая этим самым напряжение в нем.

Таким образом, физико-химические свойства бетона в основном определяются строением капиллярно-пористой структуры цементного камня, образованного в процессе его твердения. На структуру бетона существенное влияние оказывают температурно-влажностные условия твердения. В процессе тепловой обработки бетонных изделий и конструкций особо важное значение приобретает способ подвода тепла. В зависимости от способа теплоподвода, как указано в работах С.Г. Романовского и Л.Я. Волосяна, механизм тепло- и массопереноса имеет принципиально различный характер. При рассмотрении закономерностей переноса тепла и массы в материале необходимо четко разграничить две области. И.Б. Заседателёв и В.Г. Петров-Денисов в своей работе рассматривают следующие области: тепло- и массообмен в твердеющем бетоне на стадии структурообразования (начиная от коагуляции до стабильной кристаллизации) и перенос тепла и массы в бетоне при сложившейся структуре.

Учитывая, что затвердевший бетон во второй области является капиллярно-пористым телом, тепло- и массообменные процессы в нем могут быть с успехом описаны методами, разработанными А.В. Лыковым и его школой по теории тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых телах. Однако явления тепло- и массопереноса в твердеющем бетоне имеют не-

сколько иной характер и к тому же недостаточно изучены. Работы Г.А. Бужевича, Б.А. Крылова, Н.А. Мощанского, О. Кришера посвящены изучению вопроса массообмена в твердеющем бетоне, но недостаточно исследована картина испарения влаги в зависимости от факторов окружающей среды.

Согласно теории тепло- и массообмена влага в капиллярно-пористых телах движется в сторону пониженной температуры. Влага, мигрируя в сторону охлажденной поверхности заполнителя бетона, приводит к образованию макровключений льда в основном по его периметру. По мере образования ледяных включений влага перемещается из более теплых слоев к холодным, увеличивая этим объем включений льда. Железобетонные изделия и конструкции остывают с наружных слоев, постепенно проникая вглубь.

В процессе замерзания бетона влага мигрирует из тонких капилляров к образовавшимся ледяным включениям, которые увеличиваются в объеме. После оттаивания бетона в местах ледяных включений остаются каверны, которые нарушают монолитность материала, снижая этим самым прочность и увеличивая проницаемость. Следовательно, изменение в структуре бетона при замерзании связано не только с температурными перепадами, но и с внутренним массопереносом.

Классической работой Фурье было положено начало аналитической теории переноса тепла и влаги. На механизм переноса тепла и массы в бетонной смеси влияют форма связи влаги с материалом, условия тепловой обработки, структура материала, а интенсивность переноса зависит от температуры процесса.

Основной закон массопереноса в капиллярно-пористом теле по А.В. Лыкову описывается следующей формулой:

$$I_m = a_n \cdot v_0 \cdot \Delta u - a_n \cdot \delta \cdot t \cdot \Delta T - k_p \cdot \Delta p. \quad (1)$$

Коэффициент a_n характеризует инерционные свойства тела при распространении полей потенциала вещества (Δu) и теп-

ла (ΔT). Первый член уравнения является выражением влагопроводности и указывает, что перенос вещества осуществляется за счет градиента влажности материала. Второй член уравнения выражает термовлагопроводность и указывает, что перенос влаги происходит также за счет градиента температуры в теле. Третий член указывает на зависимость переноса пара в капиллярном теле за счет градиента общего давления (Δp). Влагоперенос происходит в направлении меньших температур, давлений и содержаний влаги.

Что же происходит в конструкциях и изделиях в условиях отрицательной температуры? Вначале влага интенсивно движется к периферии из внутренних слоев, так как температура их выше температуры наружных слоев. Перенос влаги в холодную зону приводит к ее избытку, а замерзая, она переходит в твердую фазу (лед). Коэффициент теплопроводности металла и заполнителя несколько выше, чем у цементного камня, поэтому на поверхности образуются ледяные линзы, которые и приводят к ослаблению их контакта.

Для изучения механизма замерзания и твердения бетона при отрицательной температуре в НИИЖБе под руководством С.А. Миронова исследовались гидратация и твердение цемента, раствора и бетона при одинаковых отрицательных температурах. Было установлено, что бетонные образцы, выдерживаемые при температуре $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, набирали прочность до 63 % от прочности образцов, выдерживаемых в нормальных условиях 28 суток. Образцы, выдерживаемые при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, имели прочность порядка 6–18 %, а бетон, замороженный при температуре -10 и $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, практически никакой прочности не набирал. Эти результаты подтвердились и при исследовании цемента. Небольшое увеличение прочности бетона обеспечивается за счет предварительного выдерживания его порядка 2–3 суток.

Бетонные изделия и конструкции, имеющие прочность 70 % от R_{28} , при дальнейшем их выдерживании при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ существенного прироста прочности не давали.

Ряд ученых утверждают, что бетон способен набирать прочность при отрицательной температуре. Так, И.А. Кириенко выдвинул гипотезу о твердении бетона при температуре до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, утверждая, что реакция гидратации протекает в твердой фазе, т. е. со льдом. Если придерживаться этой гипотезы, то бетон мог бы набирать прочность и при любой отрицательной температуре. К сожалению, мы наблюдаем обратную картину: потери прочности бетона находятся в прямой зависимости от снижения температуры.

В 1930-е годы И.А. Кириенко, а затем и С.А. Мироновым было установлено, что предварительное выдерживание бетона при низких положительных температурах перед началом тепловой обработки или твердения в нормальных условиях позволяет в конечном итоге получить более высокую прочность.

Этот способ выдерживания бетона на протяжении сорока лет широко применяется в строительстве за рубежом и в нашей стране.

1.2.1. Влияние отрицательной температуры на формирование структуры бетона

Вода в природе, с точки зрения молекулярной физики, рассматривается как система молекул водорода и кислорода, находящихся в диффузионном состоянии. При понижении температуры скорость движения молекул уменьшается, снижая соответственно внутреннюю энергию воды, а при увеличении, наоборот. Температура также влияет на содержание простейших молекул воды.

Так, молекулы состава H_2O существуют у парообразной воды при очень высоких температурах: $(\text{H}_2\text{O})_2$ (дигидрол) имеет место при температуре $100\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$; $(\text{H}_2\text{O})_3$ (тригидрол) – при температуре до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $(\text{H}_2\text{O})_6$ – при более низких температурах; $(\text{H}_2\text{O})_{12}$ – в твердой фазе.

В критических точках замерзания и кипения активность воды снижается вследствие агрегирования ее молекул.

В процессе приготовления бетонной смеси на заводе крупные и мелкие фракции заполнителя смачиваются по периметру водой. При замерзании смеси или бетона они разбухают, увеличиваясь в объеме за счет тончайших ледяных прослоек, нарушают контакт между собой и цементным раствором, а также арматурой.

Внутреннее сцепление между составляющими материалами нарушается в процессе многократного оттаивания и замораживания. Это имеет место в осенне-весенний период.

Деструктивные процессы в теле бетона зависят от величины отрицательной температуры. В ходе исследования бетона, подверженного замораживанию, было установлено, что отрицательные температуры, близкие к 0 °С, обычно сильнее отражаются на снижении прочности и морозостойкости бетона, чем более низкие.

Замораживание бетона, имеющего низкую прочность, приводит к образованию множества волосных каналов в растворной части, а также в зоне контакта крупных заполнителей из гравия твердых пород.

Следует обратить особое внимание на качество, размеры, поверхность, конфигурацию заполнителей, которые играют важную роль при получении бетонов с высокими физико-механическими свойствами.

Увеличение размеров заполнителей влечет за собой соответственно и увеличение концентрации напряжений в теле бетона. Мелкие же заполнители дают более однородную структуру. Чем крупнее заполнитель, тем больше бетон склонен к трещинообразованию, но вместе с тем создается более жесткий каркас, что важно для снижения деформации бетона под нагрузкой.

При производстве бетонных работ в зимних условиях нужно обращать особое внимание на выбор заполнителей. Деструктивные процессы, которые происходят в бетоне при замерзании, уменьшают плотность, снижают сцепление заполнителя с цементным камнем, что в итоге приводит к снижению прочности при изгибе больше, чем при сжатии. Использование

пористых заполнителей, имеющих большую деформативность, уменьшает опасность разрушения бетона в зимних условиях.

Итак, прочность бетона также будет зависеть от качества заполнителей и их сцепления с цементным камнем.

1.2.2. Твердение бетона при отрицательной температуре

В настоящее время имеются некоторые данные о твердении бетона на морозе. В 1950-е годы существовало мнение, что после тепловой обработки бетона паром он продолжает набирать прочность при отрицательной температуре. НИИЖБ Гостроя СССР исследовал этот вопрос.

Эксперименты проводились одновременно в лабораторных условиях и на строительных объектах Воркуты и Норильска. Для этой цели были созданы подземные лаборатории, в которых сохранены условия естественной мерзлоты. Некоторые результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Рост прочности бетона при температуре
от $-0,9$ до $-2,7$ °С в зависимости от предварительной
выдержки и химических добавок**

Предварительное выдерживание в нормальных ус- ловиях, сут	Прочность бетона после выдерживания в контакте с мерзлотой					
	без добавки		с добавкой		с комплексной добавкой НКМ	
	1 мес	7 мес	1 мес	7 мес	1 мес	7 мес
Бетон состава 1:1,85:3,85 класса В15 на цементе марки 500, В/Ц = 0,5 (расход цемента 340 кг/м ³)						
0,1	<u>15,3</u> 69	<u>17,9</u> 80	<u>19,1</u> 86	<u>22,6</u> 101	<u>17,7</u> 79	<u>25,1</u> 112
1	<u>15,6</u> 70	<u>21,1</u> 95	<u>18,5</u> 83	<u>22,4</u> 100	<u>18,4</u> 82	<u>24,1</u> 103
3	<u>18,6</u> 83	<u>23,6</u> 106	<u>17,7</u> 79	<u>23,2</u> 104	<u>18,2</u> 85	<u>23,8</u> 107
7	<u>20,4</u> 92	<u>25</u> 112	<u>20,6</u> 92	<u>26,1</u> 116	<u>19,5</u> 87	<u>25,6</u> 115

Предварительное выдерживание в нормальных ус- ловиях, сут	Прочность бетона после выдерживания в контакте с мерзлотой					
	без добавки		с добавкой		с комплексной добавкой НКМ	
	1 мес	7 мес	1 мес	7 мес	1 мес	7 мес
Бетон состава 1:1,85:3,95 класса В7,5 на цементе марки 300, В/Ц = 0,56 (расход 340 кг/м ³)						
0,1	$\frac{5,5}{38}$	$\frac{5,7}{39}$	$\frac{13,2}{90}$	$\frac{13,1}{90}$	$\frac{14,9}{102}$	$\frac{17,2}{118}$
1	$\frac{6,8}{47}$	$\frac{10,5}{72}$	$\frac{13,7}{94}$	$\frac{16,2}{111}$	$\frac{12,4}{85}$	$\frac{19,3}{132}$
3	$\frac{10}{69}$	$\frac{11,3}{77}$	$\frac{13,5}{92}$	$\frac{14,3}{98}$	$\frac{12,9}{88}$	$\frac{13,1}{90}$
7	$\frac{12}{82}$	$\frac{12,6}{86}$	$\frac{14,8}{101}$	$\frac{16,6}{114}$	$\frac{13,2}{90}$	$\frac{14,5}{99}$

Как видно из табл. 2, в зависимости от активности цемента и В/Ц в месячном возрасте бетон без добавок, помещенный через 2–3 часа на мороз, приобретает прочность 40–70 % от R_{28} . После 3-суточного выдерживания в нормальных условиях к месячному возрасту бетон набирает прочность порядка 70–80 % от R_{28} . Следовательно, введение добавок при укладке бетона в вечномерзлый грунт является целесообразным.

На основании этих исследований С.А. Миронов предложил при устройстве свайных фундаментов ростверки бетонировать с добавкой нитрита натрия, поташа или хлористого кальция в малых количествах, поскольку это дает большой экономический эффект. НИИЖБ провел эксперименты с целью проверки значения предварительного выдерживания до начала заморзания, а также тонкости помола цемента.

Температура окружающей среды поддерживалась от –4 до –6 °С, применялся портландцемент Воскресенского и Белгородского заводов. Данные о наборе прочности приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Твердение бетона при температуре -5°C
в течение 28, 90 суток**

Режим выдержки	Подго- товка цемента	Предел прочности бетона в возрасте, сут					
		28		90		28 (нормальное твердение)	
		В	Б	В	Б	В	Б
Сразу в холо- дильную камеру при -5°C	Без до- мола	$\frac{2,3}{6}$	$\frac{5,2}{15}$	$\frac{6}{17}$	$\frac{5,9}{17}$	$\frac{35,8}{100}$	$\frac{34,9}{100}$
	С домо- лом	$\frac{7,7}{16}$	$\frac{7,7}{19}$	$\frac{9,9}{20}$	$\frac{13,2}{32}$	$\frac{48,9}{100}$	$\frac{40,6}{100}$
Выдержи- вание в течение 40 ч при $+15^{\circ}\text{C}$, затем при -5°C	Без до- мола	$\frac{16,7}{47}$	$\frac{21,1}{60}$	$\frac{21,7}{61}$	$\frac{24,1}{69}$	$\frac{35,8}{100}$	$\frac{34,9}{100}$
	С домо- лом	$\frac{27,4}{56}$	$\frac{29,3}{72}$	$\frac{31,5}{65}$	$\frac{37,8}{93}$	$\frac{48,9}{100}$	$\frac{40,6}{100}$

Примечание. Над чертой указана прочность бетона, МПа, под чертой – в % от R_{28} , В – портландцемент Воскресенского завода, Б – Белгородского завода.

Как видно из табл. 3, тонкость помола положительно влияет на темп набора прочности. Большое значение имеет и предварительная выдержка при положительной температуре. Так, бетоны, приготовленные без домолы и с домолом, помещенные в холодильную камеру при -5°C , через 28 суток дают разный прирост прочности.

В табл. 4 приведены данные эксперимента по нарастанию прочности при отрицательных температурах бетонов, предварительно выдержанных в нормальных условиях и имеющих определенную прочность. Уместно обратить внимание и на то, что твердение бетона продолжается при температурах ниже -10°C .

**Наращение прочности бетонов
при отрицательных температурах**

Прочность бетона до заморажива- ния, % от R_{28}	Увеличение прочности бетона после 28 сут, %				
	Температура, °C				
	0	-2	-5	-10	-20
0	50–60	20–30	5–10	1–3	1
5–10	40–60	30–40	15	3–5	2–4
15–20	50–70	45–50	20	15	10
30–50	–	–	15	10	8

На прочностные характеристики бетона, прошедшего тепловую обработку и выдержанного при отрицательной температуре, влияет водонасыщение. Результаты экспериментов показали, что в насыщенных образцах вода при замерзании вызывает большие внутренние напряжения, понижающие прочность бетона. В воздушно-сухих образцах воды содержится значительно меньше, поскольку она находится в основном в мелких порах и капиллярах, где замерзает при более низкой температуре. Поэтому в воздушно-сухих образцах отсутствуют такие структурные нарушения, которые повлияли бы на прочность бетона. Различное содержание влаги в пропаренном бетоне на морозе является причиной разных прочностных данных. В естественных условиях железобетонные изделия и конструкции могут подвергаться как водонасыщению (дождь), так и обезвоживанию (ветер, солнце), что, безусловно, сказывается на стабильности результатов при определении прочности. Необходимо также помнить, что в естественных условиях температура в течение месяца значительно колеблется, поэтому показательна не минимальная, а среднемесячная температура.

В табл. 5 показано ориентировочное нарастание прочности пропаренного бетона в условиях последующего твердения в зависимости от различных факторов окружающей среды.

Таблица 5

**Ориентировочное нарастание прочности бетона класса В22,5
на портландцементных после пропаривания
в различных условиях**

Прочность бетона через 12 ч после тепловой обработки, %, от марочной	Время твердения после обработки, сут	Прочность бетона при твердении, %, от марочной				
		в жарком влажном климате	в сухом жарком климате	в теплое время года	в переходный период	в холодное время года (–10 °С и ниже)
50	1	60	60	55	50	50
	3	80	70	65	55	50
	7	95	80	70	60	50
	14	100	80	80	70	50
	28	105	80	100	80	50
70	1	75	75	75	75	70
	3	85	85	85	80	70
	7	105	90	90	80	70
	14	105	95	95	85	70
	28	110	100	105	90	70

Из табл. 5 можно сделать следующие выводы:

– прочность бетона через 12 часов после тепловой обработки составила 50 % от марочной, в холодное время года (–10° С и ниже) добор прочности через 1, 3, 7, 14, 28 суток не отмечался.

– при наборе прочности 70 % после тепловой обработки добор прочности при –10 °С также не наблюдался и остался на уровне 70 % от R_{28} ;

– то же самое повторилось и при наборе прочности 85 % от R_{28} при тепловой обработке.

Эти данные получены в НИИЖБе. Они могут быть использованы работниками строительной индустрии при определении минимальных значений отпускной прочности в различных климатических зонах.

При производстве бетонных работ в зимних условиях рекомендуется применять алитовые высокоалюминатные портландцементы. Интенсивная гидратация и тепловыделение этих цемента обеспечивают быстрое формирование структурной прочности бетона.

На рис. 2 приведен график кинетики набора прочности бетоном при температуре от +20 до –20 °С без предварительного его выдерживания при положительных температурах. Видно, что у легких бетонов наблюдается нарастание прочности до температуры –15 °С. Это можно объяснить, как ранее уже отмечалось, наличием пористости в заполнителях.

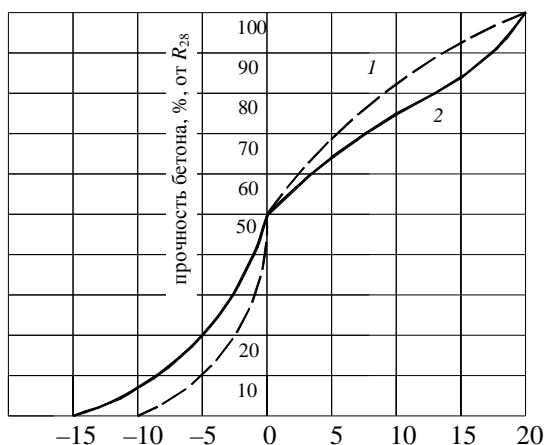


Рис. 2. Кинетика роста прочности свежеизготовленного бетона в течение 28 суток твердения при температурах от +20 до –20 °С (% от R_{28}):

1 – тяжелый бетон; 2 – легкий бетон

На основании комплексных исследований, проведенных в НИИЖБе, ЦНИИОМТП Госстроя и других институтах, можно сформулировать основные положения о твердении цемента и бетона при отрицательных температурах:

1. Гидратация цемента и твердение бетона на морозе находятся в прямой зависимости от содержания в них жидкой фазы.

2. Замораживание жидкой фазы не только замедляет, но и прерывает процесс гидратации цемента, а также нарушает физическую структуру цементного камня, особенно сцепление его с заполнителем.

3. Процесс замерзания бетона происходит от наружных слоев к внутренним.

4. При отрицательной температуре замерзает сначала свободная вода в макропорах, затем капиллярная, а при низких температурах и гелевая (увеличиваясь в объеме, она разрыхляет сформировавшийся конгломерат).

5. Чем раньше происходит замерзание бетона, тем больше потери прочности, увеличение водопроницаемости и уменьшение морозостойкости.

6. Внутренние деформации происходят только при полном насыщении бетона при отрицательных температурах.

7. Воздушно-сухие бетоны в аналогичных условиях имеют достаточно пор для расширения льда, в них практически отсутствует внутренняя деформация.

8. На формирование структуры вредное влияние может оказать температура близкая к 0 °С (при которой происходит твердение). При этой температуре идет медленное образование крупных кристаллов льда. На начальной стадии твердения идет разрушение слабого кристаллического каркаса в межзерновом пространстве.

9. Для затвердевшего бетона наиболее опасной является низкая температура, которая вызывает замерзание воды в тонких капиллярах и гелях. В подобных случаях бетон находится в стадии анабиоза.

В настоящее время в нормативные документы Росстроя России включены указания по учету набора прочности при отрицательных температурах. Регламентирована отпускная прочность изделий и конструкций заводского изготовления в зависимости от

их назначения. Широко используется учет набора прочности на морозе при введении в бетон различных химических добавок. При производстве бетонных работ методом термоса учитывается твердение бетона при отрицательной температуре.

1.3. Материалы для бетонов

Качество бетона в большой степени зависит от используемых материалов. Материалы должны удовлетворять государственным стандартам и техническим условиям.

1.3.1. Вяжущие вещества

Для приготовления бетонной смеси широко используются неорганические вяжущие вещества, которые подразделяются на вещества водного (цементы) и воздушного (известь, гипс и др.) твердения.

Портландцемент. Основными материалами для производства портландцемента обычно служат те или иные виды известняка и глины. В качестве материала, содержащего известь в виде углекислого кальция, применяют мел и мергель. Обычные сланцевые глины являются источником глинистого материала, состоящего в основном из глинозема и кремнезема. Портландцемент – порошок серого цвета, который образуется при помолу клинкера с добавкой гипса. Клинкер получается путем обжига во вращающихся печах специально подобранной сырьевой смеси, содержащей 75 % CaCO_3 и 20–25 % ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$). В природе встречаются известняковые мергели с аналогичным составом. Поскольку такие известняки встречаются в природе редко, приходится применять искусственные смеси.

Для получения цемента высокого качества и устойчивой марки необходимо, чтобы состав сырьевой смеси (соответственно и химический) был устойчив. Для портландцемента рекомендуется следующий химический состав клинкера: 60–70 % CaO ;

19–24 % SiO_2 ; 4–7 % Al_2O_3 ; 2–6 % Fe_2O_3 . Другие включения в цементе не должны превышать 8–9 %, к ним обычно относятся 5 % MgO и 3–3,5 % SO_3 . При помоле к цементному клинкеру можно добавлять 10–20 % гранулированных доменных шлаков или активных минеральных добавок.

Сырьевую смесь обжигают при температуре 1200–1450 °С. В этот момент происходят сложные физико-химические процессы: свободная окись кальция, образовавшаяся при разложении углекислого кальция, соединяется с глиноземом, окисью железа и кремнеземом. В результате образуются клинкерные минералы: алюмоферриты кальция переменного состава $x \cdot \text{CaO} \cdot y \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, трехкальциевый алюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, двухкальциевый силикат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и трехкальциевый силикат $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Эти четыре соединения – основные части цементного клинкера, два последних соединения составляют 70–80 % от его массы. Содержание этих минералов в портландцементе распределяется следующим образом: 37–60 % $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_3S ; 15–37 % $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, или C_2S ; 5–15 % $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, или C_3A ; 10–18 % $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, или C_4AF .

Свободной окиси кальция в цементе допускается не более 0,05 %, так как она медленно гасится, увеличивается в объеме и нередко вызывает растрескивание затвердевшего цемента.

Качество портландцемента в первую очередь определяется наличием трехкальциевого силиката $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (так называемого алита) – быстродействующего гидравлического вещества. Двухкальциевый силикат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (белит) медленно твердеет и имеет среднюю прочность. Трехкальциевый алюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ твердеет быстро, но имеет низкую прочность. Свойства минералов цементного камня приведены в табл. 6.

Высокомарочные и быстротвердеющие цементы изготавливают с повышенным содержанием трехкальциевого силиката (алитовые цементы). Белитовые цементы медленно твердеют, но в конечном итоге прочность их может быть достаточно высокой. Основным свойством, характеризующим качество любо-

го цемента, является его прочность (марка). Прочность цемента при сжатии колеблется от 30 до 60 МПа. Помимо прочности к цементам предъявляются и другие требования (нормальная густота, сроки схватывания). Нормальной густотой цемента называют процентное содержание в нем воды, которая обеспечивает определенную консистенцию цементного теста (нормальная густота портландцемента – 22–27 %).

Таблица 6

Свойства клинкерных минералов

Минерал	Степень гидратации, % полной гидратации			Глубина гидратации			Прочность*			Теплота гидратации, кал/г		
	Возраст, сут											
	3	7	28	3	7	28	1	7	28	3	7	28
C ₃ S	61	69	73	3,5	4,7	7,9	1	4,2	4,9	97	110	116
C ₂ S	18	30	48	0,6	0,9	1	0	0,1	0,63	15	25	40
C ₃ A	56	62	82	10,7	10,4	11,2	0,02	0,18	0,4	141	158	209
C ₄ AF	31	44	66	7,7	8	8,4	0	0,2	0,25	42	60	90

* За единицу принята прочность C₃S в суточном возрасте.

При схватывании цементное тесто постепенно теряет пластичность, загустевает и приобретает незначительную прочность. Сроки схватывания определяются на специальном приборе по глубине проникновения иглы в цементное тесто, характеризуют начало и конец превращения материала в твердое тело.

По ГОСТ 10178–85* требуется, чтобы начало схватывания при температуре 20 °С наступало не ранее чем через 45 мин, а конец не позднее чем через 10 ч с момента затворения водой. На практике, как правило, начало схватывания наступает через

1–2 ч, а конец – через 5–8 ч. Эти сроки и регламентируют технологию производства бетонных работ. Время схватывания цемента можно регулировать за счет добавления в бетонную смесь (в процессе ее приготовления) различных химических добавок.

Химическая реакция при схватывании и твердении цемента сопровождается выделением тепла, количество которого зависит от наличия различных соединений в цементе. Так, 1 кг цемента М300 выделяет в бетоне за 7 суток не менее 40 ккал (168 кДж), 1 кг цемента М400 – не менее 50 ккал (210 кДж). При производстве бетонных работ в зимнее время рекомендуется применять цементы с повышенным содержанием (C_3S , C_3A), так как выделяемое тепло при твердении цемента положительно влияет на термовлажностный режим. Бетонирование массивных конструкций в летнее время может вызвать появление трещин в бетоне от их неравномерного разогрева. В этом случае необходимо в первую очередь применять цементы с пониженным содержанием (C_3S , C_3A) и повышенным содержанием (C_2S), а также принимать специальные меры по снижению тепловыделения.

Портландцемент и шлакопортландцементы выпускаются отечественными заводами по ГОСТ 10178–85* (табл. 7).

Основная часть всех силикатных цементов состоит из портландцементного клинкера. Марки и виды цементов получают за счет подбора определенного минералогического состава, а также ввода минеральных или органических добавок.

Портландцемент (ПЦ) – цемент, не содержащий в своем составе минеральных добавок (кроме гипса). В производстве сборного железобетона и преднапряженных конструкций применяется ПЦ следующих марок: 400, 500, 550, 600.

Портландцемент с активными добавками (ПЦД). Добавки применяются в объеме 5–20 % (гранулированные шлаки, трепел, опоки и т. д.). Это один из наиболее распространенных цементов. Применяется в основном при производстве монолитного бетона. Марки его аналогичны ПЦ.

Таблица 7

Требования к цементу

Вид цемента	Марка	Содержание добавок, %		
		гранулиро- ванного шлака	активных минеральных	
			трепела, опоки, диатомита	прочих
Общестроительного назначения				
Портландцемент	400, 500 550, 600	Не допускается		
Портландцемент с минеральными добавками	400, 500 550, 600	5–20	5–10	5–20
Шлакопортландцемент	300, 400 500	20–80	10	10
Быстротвердеющий портландцемент	400, 500	20	10	20
Быстротвердеющий шлакопортландцемент	400	20–80	10	10
Сульфатостойкие				
Сульфатостойкий портландцемент	400	Не допускается		
Сульфатостойкий портландцемент с добавками	400, 500	10–20	5–10	Не допус- кается
Сульфатостойкий шлакопортландцемент	300, 400	40–60	Не допускается	
Пуццолановый цемент	300, 400	Не допускается	20–30	25–40

Шлакопортландцемент (ШПЦ) получают путем совместного помола портландцементного клинкера и гранулированного доменного шлака. Количество добавки регламентируется активностью шлака (10–80 % от массы цемента). Отечественными заводами выпускается шлакопортландцемент марок 300,

400 и 500. От обычного портландцемента отличается более медленным схватыванием (начало через 4–6 ч, конец – через 10–12 ч), замедленным твердением в первые 7–10 сут, большей стойкостью к сульфатным и морским водам. При наборе прочности на шлакопортландцемент положительно влияет термо-влажностная обработка. Теплота гидратации у ШПЦ несколько ниже, чем у обычного. Основное применение этого цемента: кладочные и штукатурные растворы, железобетонные конструкции, монолитные подготовки под полы.

Разновидностью шлакопортландцемента является быстротвердеющий шлакопортландцемент М400. Он отличается повышенным содержанием C_3S и C_3A , а также высокой тонкостью помола. Применяется при изготовлении сборного железобетона.

Пластифицированный портландцемент получают путем совместного помола клинкера портландцемента и пластифицирующей добавки (сульфитно-спиртовой барды). Эта добавка является поверхностно-активным веществом, препятствующим коагуляции цемента в воде. Пластифицированный цемент обеспечивает пластичность растворов и цементов, а это, в свою очередь, может привести к снижению расхода цемента на 5–8 %, получению более удобоукладываемого бетона, снижению В/Ц и соответственно к повышению прочности и морозостойкости.

Гидрофобный портландцемент – продукт тонкого помола клинкера портландцемента с поверхностно-активной гидрофобизирующей добавкой (мылонафт, асидол), которые берут в количестве 0,1–0,15 % от массы цемента. Гидрофобный цемент имеет ряд преимуществ по сравнению с обычным портландцементом: пониженную гигроскопичность (при длительном хранении и перевозках даже во влажной среде остается сыпучим и не теряет активности), несколько повышенную пластичность, пониженное водопоглощение и водонепроницаемость и повышенную морозостойкость в бетоне. Выпускается

гидрофобный цемент тех же марок, что и обыкновенный портландцемент.

Цемент с поверхностно-активными добавками характеризуется заниженной скоростью твердения в начальный период схватывания, а также меньшим тепловыделением. Применение эти цемента получили в гидротехнических сооружениях, а также при возведении монолитных изделий и конструкций в особых условиях, когда основное внимание уделяется тепловыделению и водонепроницаемости бетона.

Сульфатостойкие цементы изготавливаются в соответствии с ГОСТ 22266–94 (см. табл. 7). Наша промышленность выпускает сульфатостойкий портландцемент марки 400. Он имеет следующий минералогический состав: $C_2S < 50 \%$; $C_3A < 5 \%$; $C_3A + C_4AF < 22 \%$. Зачастую в цемент вводят добавки (трепел, опока, диатомит, гранулированный шлак).

Сульфатостойкие цементы предназначены для бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях переменного уровня воды в сооружениях, подвергаемых агрессивному воздействию сульфатных вод, а также при многократных циклах замораживания и оттаивания.

Пуццолановый цемент (ППЦ) также отнесен к группе сульфатостойких. Получают его путем совместного помола клинкера портландцемента, содержащего $C_3A < 8 \%$, с активной минеральной добавкой. Процентное содержание добавки зависит от ее вида: трепел, опока, диатомит составляют 20–30 %, а туфа, пемза, трасса и др. – 25–40 %. Пуццолановый цемент несколько светлее обычного портландцемента, растворы и бетоны на пуццолановом цементе более водонепроницаемы. Для получения теста нормальной густоты в пуццолановый портландцемент нужно добавлять воды на 30–40 % больше, при этом образуется более вязкая смесь, чем на обычном цементе. Во избежание этого необходимо увеличить (на 5–10 %) расход цемента в бетоне или ввести пластифицирующую добавку. Выпускают пуццолановые цементы двух марок: 300 и 400.

Растворы и бетоны на этом цементе твердеют медленнее, выделяют меньше тепла, поэтому используются при бетонировании подводных, подземных и внутренних частей гидротехнических сооружений в морской и пресной воде (мосты, набережные, плотины, шлюзы и т. д.), в канализационных и водопроводных сооружениях, при строительстве тоннелей, шахт и т. д. Не рекомендуется применять цемент в бетонах надземных сооружений, так как быстрое высыхание влаги может привести к усадкам и обезвоживанию, а также в конструкциях и изделиях, подвергаемых попеременному оттаиванию и замерзанию, увлажнению и высыханию. Специальные виды цемента и вяжущих авторы не рассматривают, учитывая, что в строительстве они применяются еще недостаточно широко.

1.3.2. Заполнители для бетона

Исходным материалом для заполнителей являются нерудные материалы, находящиеся в недрах земли. После соответствующего их обогащения они становятся прекрасными заполнителями для бетонов.

Изверженные породы. Базальты, габбро, порфиты и т. д. Они твердые, плотные, вязкие и являются хорошим заполнителем для бетона.

Песчаники. Твердые и плотные, пригодные для использования в качестве заполнителей, но лучшими являются кремнистые, состоящие из зерен кварца и скрепленные аморфным кремнеземом, менее прочные железистые. По своей прочности песчаники могут быть различными: от наиболее плотных, состоящих из прочно скрепленных зерен, до более мягких – песчанистых сланцев, которые благодаря присутствию глины обладают мягкостью, хрупкостью и большой поглощающей способностью.

Известняки. Осадочные породы, состоящие преимущественно из углекислого кальция. Их прочность меняется от твер-

дых кристаллических разновидностей до мягкого мела. Плотные и твердые вполне пригодны в качестве заполнителей для бетона; мягкие и пористые известняки применять не следует.

Сланцы. Будучи слишком мягкими и непрочными, применяются в качестве заполнителей редко, склонны к расслоению, водопоглощению и размягчению.

Метаморфические породы. Различны по своему характеру. С одной стороны, к ним относятся мрамор и кварцит – плотные и прочные породы, с другой – некоторые виды сланцев с тонким строением, не пригодным для бетона.

Искусственные заполнители. Доменный шлак, бой кирпича. Объем заполнителей в бетоне велик (порядка 70–80 %). Они влияют на свойства бетона, долговечность и стоимость. Заполнители обеспечивают жесткий скелет в бетоне, увеличивают его прочность, позволяют экономить дорогостоящий цемент, улучшают технические характеристики бетона и уменьшают его усадку.

Для легких бетонов применяются пористые заполнители. Они обладают малой массой, следовательно, уменьшают объемную массу и улучшают теплотехнические свойства бетона. В специальных бетонах (для защиты от радиации, звукопоглощения и т. д.) роль заполнителя велика, так как его свойства во многом определяют специальные свойства бетонов.

Стоимость заполнителя составляет до 50 % от стоимости бетонных изделий и конструкций, поэтому применение местных дешевых заполнителей в конечном счете позволит снизить стоимость строительства.

Для приготовления бетонной смеси применяют крупный и мелкий заполнители. Мелкий заполнитель – песок, крупный – гравий (щебень), зерно которого более 5 мм. На свойства бетона существенное влияние оказывают качество заполнителей, их зерновой состав и чистота.

Зерновой состав заполнителей определяется просеиванием пробы через стандартные сита с величиной отверстий от 0,14 до

70 мм и более. Заполнители бывают рядовые (с различными размерами) и фракционированные (зерна разделены на отдельные фракции). Фракция – это зерна близких между собой размеров, например 5–10 мм или 20–40 мм.

Зерновой состав заполнителя может быть непрерывным, если в нем встречаются зерна всех размеров (от наименьшего до наибольшего), и прерывистым, если в заполнителе отсутствуют зерна какого-либо промежуточного размера.

Оптимальным зерновым составом заполнителей считается смесь, в которой количество пустот и суммарная поверхность зерен требуют минимального расхода цемента для получения определенной подвижности бетонной смеси и прочности плотного бетона.

При подборе состава бетона на строительных объектах или заводах сборного железобетона используют местные заполнители. При этом устанавливают такое соотношение между песком и щебнем, чтобы кривая зернового состава по возможности приближалась к «идеальной», однако не обязательно, чтобы она точно ей соответствовала. Идеальный зерновой состав заполнителей в производственных условиях получить сложно, поэтому ГОСТы и ТУ допускают определенные отклонения в соотношениях отдельных фракций, которые не приводят к ухудшению свойств смеси заполнителей.

С зерновым составом непосредственно связана пустотность заполнителя, определяемая возможностью его плотной укладки. Пустотность заполнителя является важной характеристикой, так как в известной мере определяет расход цемента (чем больше пустот, тем больше требуется цемента для их заполнения).

Форма зерен заполнителей также оказывает влияние на объем пустот. В табл. 8 приведены стандартные и технологические характеристики некоторых заполнителей. Пользуясь данными этой таблицы, невозможно более полно учитывать влияние заполнителя на свойства бетона.

**Стандартные и технологические характеристики
некоторых заполнителей**

Заполнитель	Плотность, г/см ³	Объемная масса, кг/л	Пустотность, %	Модуль крупности	Водопоглощаемость, %	Коэффициент прочности
Щебень изверженных пород	2,69	1,45	45,7	—	3,43	0,50
	2,6	1,47	42,6	—	5,88	0,59
Известняковый щебень	2,56	1,34	45,6	—	5,72	0,63
Строительный песок	2,63	1,51	42,5	2,79	7	0,53
	2,7	1,37	49	0,69	11,5	0,25
Вольский песок	2,65	1,56	41	2,05	4	0,32

Песок. В природе песок представляет собой продукт выветривания горных пород – рыхлую смесь зерен (крупностью 0,14–5 мм) различных минералов, входящих в состав изверженных (реже осадочных) горных пород. Песок можно получить искусственным путем за счет дробления и просеивания твердых горных пород, себестоимость его будет гораздо выше, чем природного.

Пески встречаются кварцевые, полевошпатовые, известняковые, ракушечные и др. По условиям залегания они делятся на речные, морские и горные. Речные и морские пески имеют более окатанную поверхность, а горные – остроугольную. Целесообразно применять песок с шероховатой поверхностью, так как он лучше сцепляется с цементным камнем и придает бетону большую прочность. Песок, применяемый в бетоне, должен быть чистым (промывка весьма сложна и дорога), поэтому предпочтение отдают речному песку.

Природный песок, применяемый для производства бетона, должен отвечать новым требованиям ГОСТ 8736–93*,

ГОСТ 8735–88*. Наиболее вредна в песке примесь глины (она обволакивает зерна и препятствует сцеплению с цементным камнем).

Крупность зерен определяют просеиванием песка через стандартный набор сит с отверстиями 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм.

Результаты просеивания можно представить графически. На рис. 3 в виде заштрихованной полосы указаны допустимые колебания зернового состава песка для бетона. При этом условно пользуются модулем крупности ($M_{кр}$), обозначающим сумму полных остатков (%) на ситах стандартного набора, деленную на 100:

$$M_{кр} = \sum a_{полн} / 100. \quad (2)$$

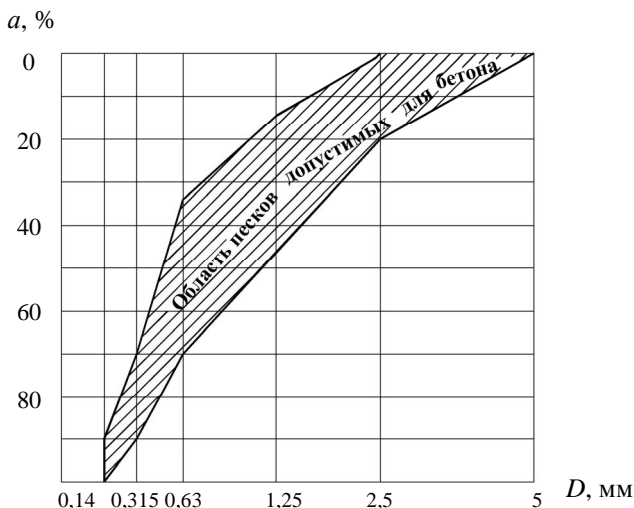


Рис. 3. Зерновой состав песка:

a – полные остатки; D – размер отверстий контрольных сит

На свойства бетонной смеси и бетона $M_{кр}$ влияет весьма приблизительно. Смеси с различным зерновым составом могут

иметь одинаковый $M_{кр}$, но разную пустотность, удельную поверхность и, соответственно, по-разному влияют на свойства бетона.

Данные табл. 9 подтверждают это положение.

Таблица 9

Сравнительная характеристика песков

Показатель	Песок № 1	Песок № 2
Частные (числитель) и полные (знаменатель) остатки, %, при размере отверстий сит, мм		
2,5	10/10	35/35
1,25	10/20	–/35
0,63	20/40	–/35
0,315	30/70	–/35
0,14	20/90	55/90
Прошло 0,14	10	10
Модуль крупности	2,3	2,3
Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	72	78
Пустотность, %	42	39

Крупный песок (табл. 10), как правило, имеет большой объем пустот, который при изготовлении бетонной смеси придется заполнять цементным тестом, что и приведет к его увеличению. В доброкачественном песке пустотность не должна превышать 38 %, поэтому наиболее оптимальному составу песка соответствует заштрихованная полоса на рис. 3.

Объемная масса песка зависит от его плотности, пустотности, влажности и определяется в сухом рыхлом состоянии (стандартом). Песок, имеющий объемную массу 1550 кг/м^3 и более, применяется для бетонов класса В15 и выше. При уплотнении объемная масса песка растет, а с повышением и понижением влажности уменьшается. Самый большой объем песка занимает при влажности 5–7 %.

Характеристика песка по крупности

Группа	Модуль крупности	Полный остаток на сите 0,63, %	Водопотребность, %
Крупный	3,5–2,5	50–75	4–6
Средний	2,5–2,0	35–50	6–8
Мелкий	2,0–1,5	20–35	8–10
Очень мелкий	1–1,5	Менее 20	Более 10

В природных условиях песок имеет разную влажность. При хранении в открытых складах влажность его меняется, поэтому в процессе приготовления бетонной смеси необходимо систематически определять объемную массу и влажность песка и корректировать состав бетона.

Гравий. Рыхлый материал, образовавшийся в результате естественного разрушения (выветривания) горных пород, состоит из зерен размером 3–70 мм и более (так называемые «булыги»). Зерна могут быть гранитными, известняковыми, сланцевыми и т. д. В своем составе гравий содержит примеси пыли, глины, песка, а иногда и органических веществ. При большом процентном содержании песка такой материал называют песчано-гравийной смесью.

В зависимости от происхождения гравий классифицируется на речной, морской и овражный. Речной и морской гравий имеет более окатанную поверхность, не дающую прочного сцепления с цементным камнем, что понижает прочность бетона.

Зерна овражного гравия более остроугольны. В зависимости от размеров зерен различают гравий следующих видов: рядовой (30–70 мм), фракционированный (5–10 мм), особо мелкий (3–10 мм), мелкий (5–20 мм), средний (20–40 мм) и крупный (40–70 мм). Максимально допустимая крупность его зависит от геометрических размеров конструкции. Для удобной укладки бетонной смеси нельзя применять гравий крупнее 1/4 части ми-

нимального размера сечения конструкции и больше минимального расстояния между стержнями арматуры.

Зерновой состав гравия (рис. 4) должен располагаться по возможности в пределах заштрихованной площадки.

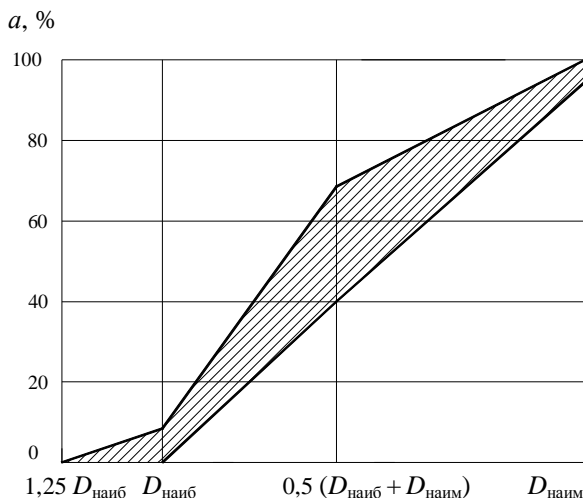


Рис. 4. Зерновой состав гравия (щебня)

Для бетонов применяется в основном крупный гравий, но с достаточным содержанием мелких и средних зерен. Пустотность гравия не должна превышать 45 %, а влажность учитывается при подборе состава бетонной смеси. Прочность зерен должна быть на 20–50 % выше марки бетона, который предполагают изготавливать из этого гравия.

Количество зерен слабых пород в гравии допускается не более 10 % для бетонов класса В7,5 и выше. Зерна гравия должны быть морозостойкими: в суровых климатических условиях необходимо выдерживать не менее 100–200 циклов, в умеренных – 50, в мягких 15–20 циклов. Примесей глины, ила, пылевидных частиц в гравии допускается не более 1 % (если количество примесей больше, то его промывают водой).

В природе нередко встречаются готовые смеси песка и гравия. В этих случаях необходимо тщательно проверять постоянство состава и соответствие его существующим стандартам.

Щебень. Материал, полученный дроблением камней из горных пород, должен соответствовать ГОСТ 8267–93* и ГОСТ 8269.0–97* Росстроя России.

В табл. 11 указаны основные свойства горных пород, которые можно использовать для приготовления щебня. К крупности, зерновому составу, прочности и морозостойкости щебня предъявляют те же требования, что и к гравиям. Щебень обычно чище гравия и имеет меньше органических примесей. Глинистые и пылевидные примеси не должны превышать 1 % в щебне из изверженных пород, 2 % – в щебне из карбонатных пород для бетонов класса В22,5 и выше. Для бетонов более низких классов величина включений соответственно равна 3 и 2 % (по массе).

Таблица 11

**Свойства горных пород,
используемых для приготовления щебня**

Группа пород по происхождению	Наименование	Плотность, г/см ³	Прочность при сжатии, кгс/см ² (10 ⁻¹ МПа)	Водопоглощение, %
Изверженные	Гранит	2,5–2,8	1000–3000	0,1–1,0
	Сиенит	2,65–2,78	1500–2600	0,1–1,0
	Диорит	2,7–2,95	1800–2400	0,1–1,0
Глубинные, интрузивные	Габбро	2,85–3,1	1000–3500	0,01–0,2
	Диабаз	2,7–2,85	1000–4500	0,01–0,2
	Порфир	2,2–2,3	600–1500	0,3–1,5
Излившиеся	Базальт	2,7–2,85	1000–4500	0,4–1,0
	Андезит	2,0–2,7	300–2500	0,1–0,2
	Перлит	1,5–2,0	500–700	0,1–2,0
Осадочные	Известняк (плотный)	2,2–2,6	350–2000	0,5–30,0
	Доломит	2,4–2,8	1500–2000	0,5–15,0
	Песчаник	1,9–2,8	1000–2500	0,2–2,5
	Кварцит	2,5–2,7	1200–4000	0,01–0,2

Группа пород по происхождению	Наименование	Плотность, г/см ³	Прочность при сжатии, кгс/см ² (10 ⁻¹ МПа)	Водопоглощение, %
Метаморфические	Гнейсы	2,4–2,8	500–2400	0,1–1,0
	Сланцы	2,2–2,6	600–3000	0,1–0,5
	Мрамор	2,6–2,8	500–2000	0,1–0,7

Прочность щебня должна быть выше класса бетона: $R_{щ} > 2R_b$ для бетона класса В22,5 и $R_{щ} > 1,5R_b$ – для бетонов более низких классов. Бетонные изделия и конструкции, находящиеся в агрессивной среде, должны быть изготовлены на щебне с водопоглощением не более 3 % (по массе).

При выборе крупного заполнителя (щебень, гравий) для бетона оценивают его стоимость и технические свойства. Для высокопрочных бетонных изделий, а также преднапряженных конструкций, как правило, применяется щебень.

Вода. Для приготовления бетонной смеси используют любую воду ($RН \geq 4$, т. е. некислую), не окрашивающую лакмусовую бумагу в красный цвет. Вода не должна содержать сульфатов более 2700 мг/л (в пересчете на SO_4) и всех солей более 5000 мг/л.

Если качество воды вызывает сомнения, то необходимо изготовить партию контрольных образцов, испытать их и сравнить $RН$ с показателями образцов, приготовленных на воде из водопровода.

Для бетонных изделий разрешается использование морской и соленой воды при наличии вышеприведенных условий. Учитывая, что соленая вода вызывает коррозию металлов, а также может выступать на поверхности бетона, запрещается ее использование в бетонах внутренних конструкций жилых и общественных зданий, в жарком и сухом климате, а также в надводных сооружениях.

Во время ухода за бетоном поливку его необходимо производить водой того же качества, что и для приготовления бетонной

смеси. Если местная вода не удовлетворяет вышеперечисленным требованиям, то необходимо создать очистные сооружения.

1.3.3. Химические добавки

Химические добавки применяются для регулирования свойств бетона: ускорения твердения, улучшения удобоукладываемости, повышения морозостойкости. Условно их можно разделить на следующие группы:

- пластифицирующие добавки: сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ), сульфитно-спиртовая барда и др.;

- пластифицирующе-воздухововлекающие добавки: мылонафт (М1), омыленная растворимая смола (ВЛХК), этилсиликонат натрия (ГКЖ-10), метилсиликонат натрия (ГКЖ-11), нейтрализованный черный контакт (НЧК), нейтрализованный черный контакт рафинированный (КЧНР), пластификатор адипиновый (ПАЦ-1) и др.;

- воздухововлекающие добавки: смола нейтрализованная воздухововлекающая (СНВ), синтетическая поверхностно-активная добавка (СПД), омыленный древесный пек (ЦНИПС-1) и др.;

- микрогазообразующие добавки: полигидросилоксаны 136-41 (бывш. ГКЖ-94) и 136-157М (бывш. ГКЖ-94М); этилгидридсесквиоксан (ПГЭН) и др.;

- ускорители твердения бетона: сульфат натрия (СН), нитрат натрия (НН₁), хлорид кальция (ХК), нитрат кальция (НК), нитрит-нитрат кальция (ННК), нитрит-нитрат-сульфат натрия (ННСН), нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК) и др.;

- противоморозные добавки: ХК в сочетании с хлоридом натрия (ХН), нитрит натрия (НН), поташ (П), соединение нитрата кальция с мочевиной (НКМ), ХК + НН, ННХК, а также М – НК + М, ННК + М, ННХК + М и др.;

- ингибиторы коррозии стали: НН, ННК.

Вышеуказанные добавки разрешается вводить в состав тяжелых и конструктивных бетонов. Оптимальное количество до-

бавок должно устанавливаться строительными лабораториями в зависимости от состава бетона и факторов окружающей среды, однако не должно превышать от массы цемента: СН – 2 %; НН, НК, ННК и ННХК – 4 %; ХК в бетоне армированных конструкций – 2 %, а в бетоне неармированных конструкций – 3 %.

В 2003 г. вышел новый ГОСТ 30459–2003 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности» и ГОСТ 24211–2003 «Добавки для бетонов и строительных растворов».

1.4. Подбор состава бетона

Подбор состава бетона производится с учетом исходных данных одним из трех методов:

1) расчетно-экспериментальным – по формулам и графикам или таблицам, когда имеются данные об активности цемента и качестве заполнителей;

2) ускоренным, когда отсутствуют данные об активности цемента и качестве заполнителей;

3) по таблицам, графикам и номограммам, когда имеются подробные данные по качеству составляющих бетон материалов.

Затем состав бетона корректируют на опытных замесах по подвижности смеси, оптимальному количеству песка и проверяют на физико-механические характеристики, после их уточнения передают на производство. На заводе составы бетона учитывают фактическую влажность заполнителей.

Требования к материалам для приготовления бетона отражены в подразд. 1.3.

1.4.1. Исходные данные для расчета и подбора состава бетона

На возведение зданий и сооружений разрабатывается проект организации строительства и проект производства ра-

бот (СНиП 12-01–2004) как неотъемлемая часть технических (технорабочих) проектов.

В этих документах устанавливаются проектный класс бетона, распалубочная и передаточная прочность (по ГОСТ 10180–90), указывается марка по водонепроницаемости (В), морозостойкости (Мрз), истираемости, коррозионной стойкости и др. с уточнением срока достижения требуемых свойств или ограничения значения В/Ц. Указываются подвижность (см), жесткость (с), определяемые по ГОСТ 10181–2000, вид и крупность заполнителя, вид и марка цемента при испытании по ГОСТ 310. 4–81*. При подборе состава бетона необходимо руководствоваться ограничениями, приведенными в табл. 12–14.

Таблица 12

Ограничения при воздействии морской и пресной воды

Условия службы бетона	В/Ц для бетона ЖБК (немассивных) в воде		В/Ц для наружной зоны массивных гравитационных сооружений в воде	
	морской	пресной	морской	пресной
В зоне переменного горизонта воды при климатических условиях:				
особо суровых	0,42	0,47	0,45	0,48
суровых	0,45	0,5	0,47	0,52
умеренных	0,5	0,55	0,55	0,56
В частях сооружений, постоянно находящихся под водой:				
напорных	0,55	0,58	0,56	0,58
безнапорных	0,6	0,62	0,62	0,62
Во внутренних зонах сооружений	Принимается из условий обеспечения водонепроницаемости, прочности, ограничения тепловыделения, изменения объема (не выше 0,75)			

Таблица 13

Ограничения при воздействии жидких агрессивных сред

Среда и характеристика плотности	Марка по водонепроницаемости	Предельное В/Ц
При воздействии жидких агрессивных сред на конструкции гидротехнических сооружений и промышленных зданий и сооружений в соответствии с требованиями главы СНиП 2.03.11–85 для бетонов:		
нормальной плотности	В-2 В-4	$\leq 0,6$ $\leq 0,7$
повышенной плотности	В-6	$\leq 0,55$
особо плотных	В-8 В-12	$\leq 0,45$ $\leq 0,4$

Примечание. При укладке бетона в изделия методами ударной технологии марка бетона по водонепроницаемости при указанных В/Ц повышается на одну степень.

Таблица 14

Ограничения при переменном действии воды и мороза

Марка бетона по морозостойкости (Мрз)	В/Ц не более
100	0,6
200	0,55
300	0,5
400	0,45
500	0,4

Примечание. Для повышения морозостойкости бетона рекомендуется применять добавки СДБ, СНВ, ГКЖ-10, -11 и -94, эмульбит, комплексную СДБ+СНВ и др. по специальным рекомендациям.

В табл. 15 приведены допуски по крупности заполнителей в зависимости от видов бетонируемых элементов и способов подачи смеси к месту укладки.

Таблица 15

Допуски по крупности заполнителя

Вид конструкций и способ укладки бетонной смеси	Допускаемая наибольшая крупность заполнителя (НКЩ)
Плиты покрытий, перекрытий	Не более 1/2 толщины стены
Балки, колонны, рамы	Не более 3/4 наименьшего расстояния между стержнями арматуры
Укладка бетонной смеси в скользящую опалубку	Не более 1/6 наименьшего размера поперечного сечения конструкции
Подача бетонной смеси по хоботам и бетононасосам	Не более 1/3 диаметра и при содержании лещадки не более 15 %

В табл. 16 дано соотношение фракций крупного заполнителя в бетонной смеси.

Таблица 16

Соотношение фракций крупного заполнителя в бетонной смеси

Наибольшая крупность заполнителя (НКЩ)	Соотношение между фракциями, %				
	Размер фракций, мм				
	5–10	10–20	20–40	40–80	80–120
10	100	–	–	–	–
20	25–40	60–75	–	–	–
40	15–25	20–35	40–65	–	–
80	10–20	15–25	20–35	35–55	–
120	5–10	10–20	15–25	20–30	30–40

Примечание. При необходимости зерновой состав крупного заполнителя уточняется экспериментально.

В табл. 17 даны рекомендации по применению заполнителей в зависимости от требуемого класса бетона.

Подвижность и жесткость бетонной смеси устанавливают в зависимости от способа укладки и вида конструкции (табл. 18)

1. Основы теории зимнего бетонирования

в соответствии с указанием нормативных документов по строительству, действующих на территории Российской Федерации.

Таблица 17

Рекомендации по применению заполнителей

Класс бетона	Рекомендуемый заполнитель
B22,5	Рядовой крупный заполнитель – щебень, гравий и песок для строительных работ. ГОСТ 5578–94*, ГОСТ 8269.1–97, ГОСТ 7392–2002, ГОСТ 8267–93*
B30	Улучшенный крупный заполнитель (мытый щебень из гравия, гравий)
B40 и B45	Высококачественный крупный заполнитель (гранитный и базальтовый щебень, щебень из плотного известняка, доломита)
B45 и выше	Особовысококачественный щебень из незатронутых выветриванием прочных изверженных пород с шероховатой поверхностью излома при дроблении (мелкокристаллические граниты)

Таблица 18

Способ укладки и виды конструкций

Конструкция	Способы укладки бетонной смеси			
	с вибрацией			без ви- брации
	ОК*, см	Ж, с		ОК*, см
		Комплекс 62 – Бетоны и растворы. Государственные стандарты по строительству Минрегион России. Госстрой ОАО ВНиИНТПИ. Москва 2008		
Сборный железобетон на жестких смесях с немедленной распалубкой	0	90–35	20–10	–

Конструкция	Способы укладки бетонной смеси			
	с вибрацией			без виб-рации
	ОК*, см	Ж, с		ОК*, см
		Комплекс 62 – Бетоны и растворы. Государственные стандарты по строительству Минрегион России. Госстрой ОАО ВНиИНТПИ. Москва 2008		
Подготовка под фундаменты и полы, дорожные и аэродромные покрытия	1–2	35–25	10–6	2–3
Массивные неармированные и с редко расположенной арматурой	2–4	25–15	6–4	3–6
Плиты, балки, колонны	4–8	15–10	4 и менее	6–12
Конструкции с большим процентом армирования (силосы, бункера)	8–10	10–5	менее 2	12–15
Элементы КЖД	12–18	—	—	—
Буронабивные сваи, шахтные стволы	16–20	—	—	—
Конструкции, сильно насыщенные арматурой и закладными деталями (швы, узлы, штрабы, пазухи и т. д.)	20–24	—	—	—

* Осадка стандартного конуса.

Допустимое количество вовлеченного воздуха по объему уплотненной смеси приведено в табл. 19.

Капиллярная пористость морозостойкого бетона должна быть не более значений, указанных в табл. 20.

Минимально допустимое количество цемента в бетонах в зависимости от условий работы конструкций и подвижности смеси приведены в табл. 21.

Таблица 19

Допустимое количество вовлеченного воздуха

Вид сооружений	Количество вовлеченного воздуха, %, объема	
	допускаемое	требуемое
Гидротехнические при НКЩ, мм:		
40	Не более 5	—
80	Не более 4	—
120	Не более 3	—
Дорожные покрытия:		
верхний слой	—	5–6
нижний слой	—	3,5–4,5

Таблица 20

Допустимая капиллярная пористость бетона

Марка бетона по морозостойкости, циклы	Капиллярная пористость бетона, %			
	нормального твердения		пропаренного	
	ССПЦ	БТЦ	ССПЦ	БТЦ
100	6,2	5,2	5,2	4,2
200	4,7	4,0	5,5	2,5
300	4,0	3,0	2,5	2,5
500	2,0	—	2,0	—

Примечание. Отношение контракционной пористости к капиллярной должно быть не менее 0,25.

Таблица 21

Расход цемента в зависимости от условий работы конструкций

Условия работы конструкций	Расход цемента при уплотнении, кг/м ³	
	с вибрацией	без вибрации
Бетон, находящийся в соприкосновении с водой, подверженный частому замораживанию и оттаиванию	240	265

Окончание табл. 21

Условия работы конструкций			Расход цемента при уплотнении, кг/м ³			
			с вибра-цией	без виб-рации		
Бетон, не защищенный от атмосферных воздействий			220		250	
Бетон, защищенный от атмосферных воздействий			200		220	
Бетонная смесь	Ж, с ОК, см	Расход цемента, кг/м ³				
		НКЩ, мм				
		10	20	40	70	
Особо жесткая	$\frac{12}{-}$	160	150	140	130	
Жесткая	$\frac{5-12}{-}$	180	160	150	140	
Малоподвижная	$\frac{-}{2-4}$	200	180	160	150	
Подвижная	$\frac{-}{4-12}$	220	200	180	160	
Литая	$\frac{-}{12 \text{ и более}}$	250	220	200	180	

В табл. 22 дана зависимость расхода воды от подвижности смеси, вида и крупности заполнителя.

Таблица 22

**Расход воды в зависимости от подвижности смеси,
вида и крупности заполнителя**

ОК, см	Ж, с (по ГОСТ 7473-94; ГОСТ 10181-2000; ГОСТ 23732-79; ГОСТ 27006-86)	Расход воды, л/м ³ , при крупности гравия и щебня, мм							
		гравий				щебень			
		10	20	40	70	10	20	40	70
—	40-50	150	135	125	120	160	150	135	130
—	25-35	160	145	130	125	170	160	145	140
—	15-20	165	150	135	130	175	165	150	145
—	10-15	175	160	145	140	185	175	160	155
2-4	—	190	175	160	155	200	190	175	170

ОК, см	Ж, с (по ГОСТ 7473–94; ГОСТ 10181–2000; ГОСТ 23732–79; ГОСТ 27006–86)	Расход воды, л/м ³ , при крупности гравия и щебня, мм							
		гравий				щебень			
		10	20	40	70	10	20	40	70
5–7	–	200	185	170	165	210	200	185	180
8–10	–	205	190	175	170	215	205	190	185
10–12	–	215	205	190	180	225	215	200	190
12–16	–	220	210	197	185	230	220	207	195
16–20	–	227	218	203	192	237	228	213	202

Примечания: 1. Расход воды приведен для смеси на портландцементе с НГЦТ = 26–28 % и на песке с $M_{кр}^n = 2$;

2. При изменении нормальной плотности цементного теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшается на 3–5 л, в большую сторону – увеличивается на 3–5 л/м³;

3. При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону расход воды увеличивается на 3–5 л, в большую сторону – уменьшается на 3–5 л.

1.4.2. Расчетно-экспериментальный способ определения состава тяжелого бетона

Расчет бетона происходит в следующем порядке.

1. Определяется В/Ц на основании предварительных экспериментов или ориентировочно по формулам:

$$\text{при } В/Ц \geq 0,4 \dots В/Ц = \frac{AR_{ц}}{R_6 + 0,5AR_{ц}}; \quad (3)$$

$$\text{при } В/Ц < 0,4 \dots В/Ц = \frac{A_1R_{ц}}{R_6 - 0,5A_1R_{ц}}, \quad (4)$$

где A и A_1 – значения коэффициентов, значения которых приведены в табл. 23.

Значения коэффициентов

Заполнители бетона	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,6	0,4
Пониженного качества	0,55	0,37

2. Определяется расход воды по требуемой подвижности бетонной смеси на основании результатов предварительных испытаний (см. табл. 22 и рис. 5). Графики на рис. 5 получены для бетона на гравии, песке средней крупности с водопотребностью 7 % и расходе портландцемента до 400 кг на 1 м³ бетона. Если используется песок с водопотребностью менее 7 %, расход воды необходимо уменьшать на 5 л на каждый процент уменьшения водопотребности.

Методика определения водопотребности песка и крупного заполнителя приведена в прил. 1 данного пособия.

3. Определяется расход цемента по формуле

$$Ц = B : B/Ц. \quad (5)$$

Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется ниже допустимого (см. табл. 21), то необходимо увеличить его до требуемой нормы или ввести тонкомолотую добавку. Добавка вводится в тех случаях, когда активность слишком высока для бетона данной марки.

4. Устанавливается коэффициент раздвижки α , а для пластичных бетонных смесей по табл. 24.

Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м³ коэффициент α принимаем равным 1,05–1,15 (в среднем 1,1). Значения α меньше 1,05 принимают в случае использования мелких песков. Для жирных составов жестких смесей с расходом цемента более 400 кг/м³ коэффициент α берут не менее 1,1.

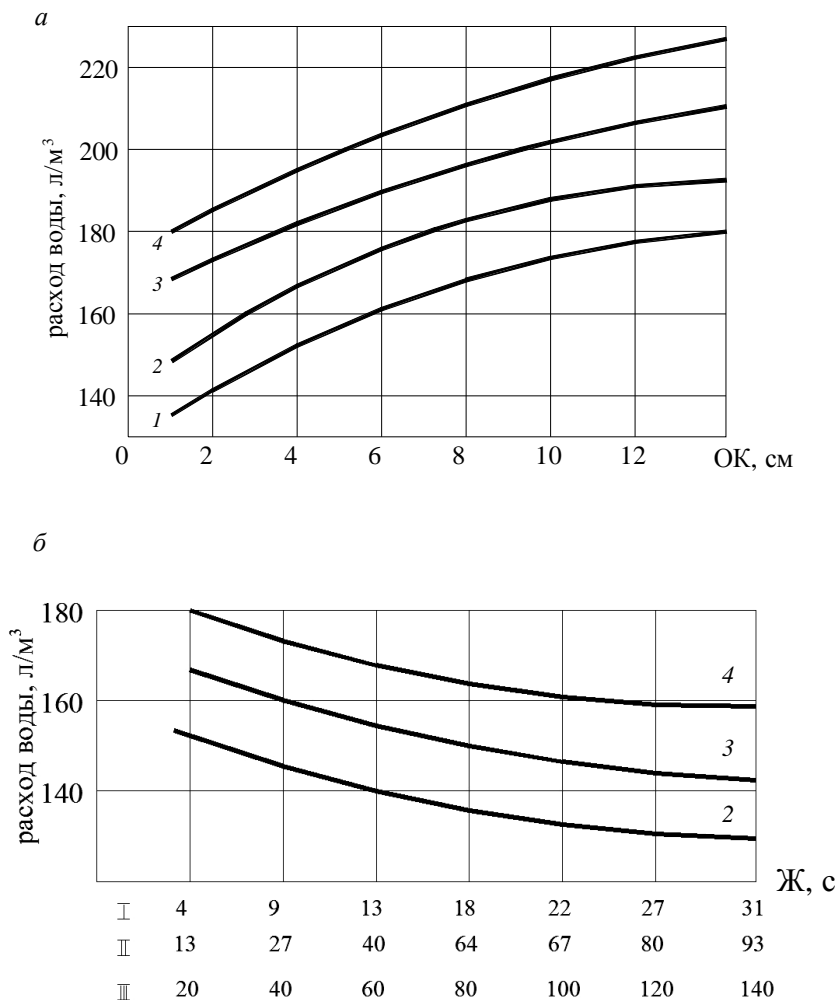


Рис. 5. Водопотребность бетонной смеси, приготовленной на гравии крупностью:

а – пластичные смеси; *б* – жесткие смеси; 1 – 80 мм; 2 – 40 мм; 3 – 20 мм и 4 – 10 мм;

Ⅰ – определение жесткости по ГОСТ 10181-2000; Ⅱ – по техническому вискозиметру; Ⅲ – по упрощенному способу

Значение коэффициента α

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

Примечания: 1. При других значениях Ц и В/Ц коэффициент α находится интерполяцией;

2. При использовании мелкого песка с водопотребностью более 7 % α уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения водопотребности песка. Если применить крупный песок с водопотребностью менее 7 %, α увеличивают на 0,03 на каждый процент уменьшения водопотребности песка.

5. Определяем расход щебня (или гравия) по формуле

$$\Pi = \frac{1000}{\frac{\alpha \cdot V_{\text{пус.щ}}}{v_{\text{нас.щ}}} + \frac{1}{v_{\text{щ}}}}, \quad (6)$$

где α – коэффициент раздвижки; $V_{\text{пус.щ}}$ – пустотность щебня в стандартно-насыпном состоянии; $v_{\text{нас.щ}}$ – насыпная объемная масса щебня, л/м³; $v_{\text{щ}}$ – плотность щебня, кг/л.

6. Определяем расход песка по формуле

$$\Pi = \left(1000 - \frac{\Pi}{v_{\text{ц}}} - B - \frac{\Pi}{v_{\text{щ}}} \right) v_{\text{п}}, \quad (7)$$

где Π – расход цемента, кг/м³; $v_{\text{ц}}$ – плотность цемента, кг/л; B – расход воды, л/м³; Π – расход щебня, кг/м³; $v_{\text{щ}}$ – плотность щебня, кг/л; $v_{\text{п}}$ – плотность песка, кг/л.

Задача. Требуется подобрать состав бетона класса В22,5 с подвижностью бетонной смеси 5–6 см.

Материалы: портландцемент (активность 380 кгс/см²; плотность 3,1 кг/л, песок средней крупности с водопотребностью 7 % и плотностью 2,55 кг/л); гранитный щебень (предельная крупность 40 мм, плотность 2,65 кг/л, объемная насыпная масса 1,5 кг/л, пустотность 0,45). Среднее значение коэффициента $A = 0,6$ (рядовые заполнители удовлетворяют установленным стандартам).

Решение:

1. Находим В/Ц

$$\text{В/Ц} = \frac{0,6 \cdot 380}{300 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 380} = \frac{228}{414} = 0,55.$$

По графикам (см. рис. 5, а) ориентировочный расход воды составляет 172 кг/м³.

2. Определяем расход цемента

$$\text{Ц} = 172 : 0,55 = 314 \text{ кг/м}^3, \quad \alpha = 1,37 \text{ (см. табл. 24)}.$$

3. Подсчитываем расход щебня

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{1,37 \cdot 0,45}{1,5} + \frac{1}{2,65}} = 1268 \text{ кг/м}^3.$$

4. Определяем расход песка

$$\text{П} = \left(1000 - \frac{314}{3,1} - 172 - \frac{1268}{2,65} \right) 2,55 = 663 \text{ кг/м}^3.$$

Расчетная объемная масса бетонной смеси составляет:

$$\nu_{\text{б.с}} = 314 + 172 + 1268 + 663 = 2386 \text{ кг/м}^3.$$

Экспериментальную проверку бетона производят в следующем порядке:

1) готовят пробный замес бетонной смеси и определяют ОК и Ж (по ГОСТ 27006–86). Если эти показатели отвечают заданным, то изготавливают контрольные образцы, определяют массу уложенного и уплотненного бетона, а затем образцы испытывают в заданные сроки;

2) при испытании готовят не менее 3 образцов, которые должны быть изготовлены в соответствии с требованиями ГОСТ 28570–90.

Образцы в течение 1 суток хранят в формах в помещении при температуре от 16 до 20 °С, затем освобождают от форм, маркируют и до момента испытания хранят во влажной среде в специальных камерах или в периодически увлажняемом песке. Перед испытанием образцы осматривают и тщательно измеряют (с точностью до 1 мм), затем взвешивают;

3) если прочность контрольных образцов отличается от проектной на 5–8 %, то следует внести корректировку в состав бетона. Методика корректирования дана в «Руководстве по подбору состава тяжелого бетона».

Ускоренный способ оценки качества цемента в бетоне и назначение состава, а также подбор состава бетона по таблицам, графикам и номограммам в учебном пособии не рассматриваются. Эти способы разработаны в вышеуказанном руководстве. Авторы считают, что расчетно-экспериментальный способ определения состава тяжелого бетона наиболее приемлем в строительном производстве и отличается высокой точностью.

1.5. Приготовление бетонной смеси

Бетонная смесь может быть приготовлена на центральном бетонном заводе, в растворобетонном цехе завода, на объектных бетонных заводах, в автобетоносмесителях, загружаемых на центральных установках сухой бетонной смесью, а также на локальных узлах в построечных условиях.

В городах и населенных пунктах с развитой дорожной сетью целесообразно бетонную смесь готовить на центральных бетонных заводах. Механизация и автоматизация процесса позволяют организовать эффективный контроль качества выпускаемой продукции.

Локальные заводы устраиваются в том случае, когда строительный объект отдален от центрального завода, отсутствуют необходимые дороги и предстоит выполнить большой объем бетонных работ (в том числе и непрерывное бетонирование сооружений).

При небольшом объеме бетонных работ на строительном объекте и удалении его от центрального бетонного завода на расстояние, превышающее допустимый технологический радиус, доставка и приготовление смеси автобетоносмесителем может быть экономически более выгодна, чем устройство локального узла.

Автобетоносмесители могут быть успешно применены при использовании бетонной смеси высокой подвижности.

Бетонные заводы снабжают смесью строительные объекты, расположенные на расстоянии, называемом радиусом действия завода. Это расстояние определяется следующим образом:

$$R = \frac{t_1 - (t_2 + t_3 + t_4)}{60} V, \quad (8)$$

где R – максимально допустимый радиус действия завода; t_1 – начало схватывания цемента, мин; t_2 – время загрузки и выгрузки бетонной смеси из транспортных средств, мин; t_3 – время транспортирования, мин; t_4 – время укладки бетонной смеси в конструкцию, мин; V – скорость транспортирования, км/ч.

Процесс приготовления бетонной смеси включает в себя следующие операции: прием и складирование составляющих материалов (цемент и заполнители), дозирование и перемешивание их и выдача готовой бетонной смеси на транспортные средства. В данный технологический цикл включаются дополнительные операции при бетонировании конструкций в зимних условиях (подогрев заполнителей, воды, подготовка и дозирование противоморозных, пластифицирующих и порообразующих добавок).

Дозирование составляющих при приготовлении бетонной смеси производится по массе, исключение допускается при до-

зировании воды. Работа автоматических дозаторов проверяется ежедневно, а метрологическая поверка производится не реже одного раза в месяц.

Точность дозирования определяет требуемую точность расчета состава бетона: расход цемента указывают с точностью до 5 кг, воды – до 2 л, песка и щебня – с точностью до 10 кг. При этом расход цемента округляют обычно в большую сторону, а воды – в меньшую.

Второй технологически важной операцией является перемешивание бетонной смеси. В процессе перемешивания материалы равномерно распределяются по всему объему зерна цемента и заполнителя, смачиваются водой, в результате получается однородная масса. В зависимости от вида, состава и назначения бетонной смеси используются разные способы перемешивания. Приготовление бетонной смеси может производиться в смесителях принудительного и гравитационного перемешивания. Бетоносмесители принудительного перемешивания применяются в том случае, если по технологии необходима жесткая смесь, смесь на пористых заполнителях или высокий расход цемента (более 350 кг/м^3). В гравитационном бетоносмесителе можно приготавливать смесь с крупными заполнителями. Разновидностью принудительного перемешивания является виброперемешивание (механическое перемешивание совмещается с вибрацией).

Качество приготовления бетонной смеси во многом зависит от времени перемешивания (рис. 6). В смесителях циклического действия время перемешивания отсчитывается от конца загрузки материалов до начала выгрузки в автотранспортное средство. Критерием качества рекомендуется считать величину коэффициента вариации прочности в серии контрольных образцов кубов, приготовленных из одного замеса.

Время перемешивания бетонной смеси берется за основу в том случае, когда коэффициент вариации прочности образцов-близнецов, приготовленных в лаборатории, не превышает 4–5 %.

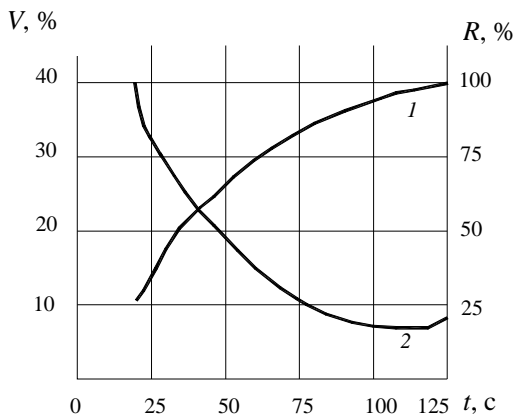


Рис. 6. Влияние времени перемешивания на относительную прочность (1) и коэффициент вариации (2)

Увеличение времени перемешивания мало сказывается на свойствах бетона и бетонной смеси. При отсутствии данных опытной проверки наименьшая продолжительность перемещения в смесителях циклического действия принимается по табл. 25. На качество перемешивания оказывают влияние износ и правильность установки лопастей бетоносмесителя, поэтому рекомендуется периодически проверять его техническое состояние.

Таблица 25

Наименьшая продолжительность перемещения бетонной смеси в смесителях циклического действия

Объем готового замеса сме- сителя, л	Смесители			
	Гравитационные			Принудительного перемешивания
	Смеси с осадкой конуса, см			
	менее 2	2–6	более 6	
500 и менее	100	75	60	60
Более 500	150	120	90	60

1.6. Транспортирование бетонной смеси

1.6.1. Общие положения

Для перевозки бетонной смеси в зависимости от осадки конуса, сроков схватывания, дальности перевозок, состояния дорог, а также факторов окружающей среды могут применяться следующие транспортные средства: автобетоносмесители, автобетоновозы, автосамосвалы. Транспортирование смеси может осуществляться в бадах и бункерах, установленных на автомашинах, а также на железнодорожных платформах с мото- или электротягой.

Типы и характеристики автотранспорта приведены в табл. 26 и 27.

Таблица 26

Технические характеристики автобетоносмесителей

Марка	Вместимость смесительного барабана по готовому замесу, м ³	Высота выгрузки материала, м	Базовый автомобиль	Габаритные размеры, мм		
				Длина	Ширина	Высота
Полезная емкость 4,0 м ³						
АБС-4	4	1,9	МАЗ-5337	7500	2500	3500
СБ-92-1А	4	960	КамАЗ-5511	7500	2500	3450
Полезная емкость 5,0 м ³						
5814112 (АБС-5К, СБ-92В-2)	5	0,5–2,0	КамАЗ-55111-1012-15	7500	2500	3620
581454	5	0,5–2,0	КамАЗ-55111-1012-15	7600	2500	3600
СБ-159Б(А)	5	1,9	КамАЗ-55111	7600	2500	3600
581410	5	0,5–2,0	Урал-4320-1912-30	9000	2500	3600
СБ-92В	5	0,5–2,2	Урал-55571-1221-40	9000	2500	3700

1. Основы теории зимнего бетонирования

Продолжение табл. 26

Марка	Вместимость смесительно-го барабана по готовому замесу, м ³	Высота выгрузки материала, м	Базовый автомобиль	Габаритные размеры, мм		
				Длина	Ширина	Высота
СБ-159	5	0,5–2,0	Урал-55571-1221-40	8000	2500	3600
ABS-5K (58141A)	5	0,5–2,0	Урал-55571-1151-40	8000	2500	3600
АБС-5	4,6	0,5–2,0	Урал-63685	7450	2500	3500
Полезная емкость 5,5 м ³						
581460	5,5	1,9	КамАЗ-53229-02	9000	2500	3000
58146A	5,5	1,9	КамАЗ-53228-02	8300	2500	3800
Полезная емкость 6,0 м ³						
СБ-127	6	0,96	КамАЗ-5511	7380	2500	3480
СБ-178	6	1,9	КамАЗ-55111	7100	2500	2830
АБС-6.1-01	6	1,9	КамАЗ-58146 В	7500	2500	3500
СБ-214	6	1,9	КамАЗ-54115	7000	2500	3600
АБС-172А	6	1,9	КамАЗ-53228	7700	2500	3650
СБ-172-1	6	1,9	КамАЗ-55111	7600	2500	3600
581462	6	0,5–2,0	КамАЗ-53229-15	7800	2500	2600
581461	6	0,6–1,6	КамАЗ-65115-1741-13	7800	2500	3650
581464	6	0,5–2,2	КамАЗ-53228-1912-15	8300	2500	3800
581466	6	0,5–2,0	КамАЗ-53229-1029-15	7800	2500	3700
ABS-6K (58146W)	6	0,1–2,15	КамАЗ-65115-1928-62	7800	2500	3600
ABS-6K (58146V)	6	0,2–2,25	КамАЗ-65111-1912-62	8000	2500	3700
ABS-6A (58146Z)	6	0,1–2,15	КамАЗ-65115-1932-62	7800	2500	3600

Марка	Вместимость смеси-тельно-го барабана по готовому замесу, м ³	Высота выгруз-ки мате-риала, м	Базовый автомобиль	Габаритные размеры, мм		
				Длина	Ши-рина	Высо-та
АМ-6	6	0,96	КрАЗ-250	9930	2500	3540
Полезная емкость 7,0 м ³						
МАЗ-MAN 690368 (АБС-7ДА)	7	1,9	MAN D2866LF25	8575	2550	3850
58147W	7	0,15–2,2	КамАЗ-65115-1958-62	8500	2500	3700
58147Z	7	0,15–2,2	КамАЗ-65115-1941-62	8500	2500	3700
58147S	7	0,16–2,21	МАЗ-6303А3	8800	2500	3710
АБС-7А (58147N)	7	0,16–2,21	МАЗ-6303А5	8800	2500	3710
Полезная емкость 8,0 м ³						
СБ-211	8	1,9	КамАЗ-54115	8000	2500	3600
СБ-234-1	8	1,9	КамАЗ-6540	9500	2500	3500
СБ-130	8	0,96	КамАЗ-5412	11200	2500	3650
АБС-8А (58148Z)	8	0,35–2,25	КамАЗ-6520-1035-61	8750	2500	3800
АБС-8А (58148W)	8	0,35–2,25	КамАЗ-6520-1908-61	8750	2500	3800
АБС-8А (58148M)	8	0,5–2,2	МАЗ-630305-250 Р1	9200	2500	3780
АБС-8	8	0,5–2,0	Урал-63685	8700	2500	3816
Полезная емкость 9,0 м ³						
МАЗ-MAN 690368 (АБС-9ДА)	9	1,9	MAN D2866LF25	8575	2550	3850
58149W	9	0,4–2,35	КамАЗ-6520-1908-61	8600	2500	3800
58149Z	9	0,4–2,35	КамАЗ-6520-15	8800	2500	3800

Марка	Вместимость смесительно-го барабана по готовому замесу, м ³	Высота выгрузки материала, м	Базовый автомобиль	Габаритные размеры, мм		
				Длина	Ширина	Высота
58149U	9	0,4–2,4	Урал-63685	9000	2500	3900
58149R	9	0,53–2,42	FORD CARGO 3530D	9000	2500	3975
АБС-9	9	0,5–2,0	Урал-63685	8640	2500	3850
Полезная емкость 10,0 м ³						
58140Z	10	0,4–2,35	КамАЗ-65201-1019-60	8800	2500	3800
58140W	10	0,36–2,31	КамАЗ-65201-60	9800	2500	3800
Полезная емкость 12,0 м ³						
АБС-12К (58142W)	12	360–2310	КАМАЗ-65201-1950	10950	2500	3915

Таблица 27

Технические характеристики автобетоновозов

Показатель	СБ-113	СБ-113М	СБ-124	СБ-128	АЗ-32
Модель автошасси	ЗИЛ-130Д	МАЗ-504Г	КамАЗ-5511	КрАЗ-6505	МАЗ-503А
Вместимость кузова, м ³	1,6	3	4,5	6	3,2
Грузоподъемность, т	3,8	6,6	8,5	14	8
Высота выгрузки, мм	1600	1600	1200	1200	1250
Габаритные размеры, мм:					
длина	5730	5850	6790	7985	5780
ширина	2500	2600	2880	2500	2600
высота	2675	2640	2880	3200	2930

Средства, предназначенные для транспортирования бетонной смеси, должны обеспечить сохранность ее свойств во

время транспортирования, а также исключить возможность влияния факторов окружающей среды.

Доставка бетона к месту укладки организуется таким образом, чтобы на месте укладки он имел заданную подвижность и однородность, а изготовленный бетон отвечал бы требованиям проекта.

Выбор рациональных маршрутов и разработку графиков доставки бетонной смеси с завода на строительные объекты рекомендуется осуществлять в едином диспетчерском центре с помощью автоматической системы управления (АСУ) бетонорастворными заводами на электронно-вычислительных машинах.

Если количество объектов незначительное и поток бетона мал, разрешается графики доставки бетона разрабатывать вручную по специально составленным программам математическими методами линейного и динамического программирования.

Для сохранения технологических свойств бетонной смеси необходимо соблюдать следующие требования:

1. Транспортирование смеси осуществлять по дорогам с жестким покрытием и без каких-либо дефектов.

2. Стремиться к сокращению перегрузочных операций, желательно бетон укладывать непосредственно в опалубки или в бетоноукладочное оборудование.

3. С целью предотвращения расслаивания при выгрузке ограничить высоту свободного падения бетона до 1,5 м, в противном случае обеспечить строительную площадку вибролотками или виброхоботами.

4. Разработать организационно-технические мероприятия по предотвращению остывания и перегрева бетонной смеси при перевозке зимой или в условиях сухого и жаркого климата.

Автотранспорт, занятый на перевозке бетонной смеси, должен быть оборудован средствами радиосвязи с центральным диспетчерским пунктом и строительным объектом.

Кузова автотранспорта, в которых перевозится бетонная смесь, необходимо систематически очищать и промывать от наплывов бетона.

1.6.2. Транспортирование и приготовление бетонной смеси автобетоносмесителями

Автобетоносмеситель – специализированная машина для перевозки сухих бетонных смесей и приготовления из них в пути следования готовых бетонных смесей. Автобетоносмесители могут быть использованы и для транспортирования готовой бетонной смеси с побуждением ее в пути. Загрузка сухой смесью бетоносмесителя производится на заводах товарного бетона.

Базовыми автомобилями для автобетоносмесителя в настоящее время являются МАЗ, КамАЗ, Урал и КрАЗ. Кроме смесительного барабана на шасси автомобиля устанавливается бак для воды, загрузочное устройство, ручное устройство для управления смесительным барабаном, навесное оборудование для подачи смеси к месту укладки. При транспортировании бетона на большие расстояния автобетоносмеситель практически незаменим.

Рекомендуемое время и режим транспортирования в автобетоносмесителях показаны в табл. 28.

Таблица 28

Рекомендуемое время и режим транспортирования в автобетоносмесителях

Вид бетонной смеси	Коэффициент использования барабана		Рекомендуемое время нахождения в пути, ч	Режим транспортирования смеси
	Верхняя загрузка	Задняя загрузка		
Сухая	0,5	0,52–0,57	Не ограничено	А
Смоченная	0,64	0,65–0,69	Не более 3 ч	Б
Готовая	0,71	0,74–0,8	Не более 2 ч	В

Примечания: 1. Режим А. Барабан включается на 10–20 мин в пути следования или на строительном объекте до разгрузки;

2. Режим Б. Барабан включается непосредственно после его загрузки;

3. Режим В. Барабан периодически включается и выключается во время транспортирования смеси до объекта;

4. Барабан автобетоносмесителя рекомендуется промывать после каждого рейса и в конце смены.

1.6.3. Перевозка бетонной смеси автобетоновозами

Автобетоновоз – специализированная машина, предназначенная для перевозки готовой бетонной смеси и растворов. Базовыми автомобилями являются ЗИЛ, МАЗ, КамАЗ и КрАЗ. Для предохранения смеси от воздействия факторов окружающей среды емкость имеет крышку, двойную обшивку с устройством термоизоляции (или устройством для подогрева выхлопными газами). Часть автобетоновозов оборудована лопастями для перемешивания смеси в пути и приспособлениями для порционной ее выдачи.

Максимально технологически допустимые расстояния транспортирования бетонной смеси при температуре воздуха от –20 до +30 °С приведены в табл. 29.

Таблица 29

Максимально технологически допустимые расстояния транспортирования бетонной смеси

Подвижность бетонной смеси, см	Вид дорожного покрытия	Скорость транспортных, км/ч	Расстояние, км					
			Автобетоносмеситель		Автобетоновоз	Автосамосвал	Автобадьевоz	
			Режим транспортирования					
			А	Б	В	Готовая смесь без побуждения в пути		
1–3	Жесткое, асфальтовое, асфальтобетон и т. д.	30	Неограничено	до 120	до 100	до 45	30	25
4–6				100	80	30	20	15
7–9				80	60	20	15	10
10–14				60	45	15	10	8
1–3	Мягкое, грунтовое, улучшенное	15	Применение не рекомендуется ввиду возможности быстрого выхода из строя			12	7,5	5
4–6						8	5,0	3
7–9						5,4	3,7	2
						4,0	2,5	1,6

Примечание. Для автобадьевозов скорость перевозки смеси по дорогам с жестким покрытием устанавливается не более 25 км/ч.

1.6.4. Транспортирование бетонной смеси автосамосвалами

При отсутствии спецавтотранспорта допускается перевозка бетонной смеси на короткое расстояние (не более 5 км) автосамосвалами. Для этого необходимо:

- 1) нарастить борта на 40 см для уменьшения потерь бетонной смеси во время торможения или набора скорости;
- 2) уплотнить примыкание заднего борта к кузову самосвала (прокладка из листовой резины, транспортерной ленты и т. д.);
- 3) произвести утепление кузова при транспортировании бетонной смеси в зимних условиях (устроить термоизоляцию или оборудовать теплообогрев кузова выхлопными газами);
- 4) для предотвращения попадания атмосферных осадков и прямой солнечной радиации (особенно в южных районах) делать крышки или пологи из брезента;
- 5) для облегчения выгрузки бетонной смеси использовать вибраторы, установленные на днище внешней стороны кузова самосвала. С этой целью может быть использован обыкновенный стартер с навешенным на его якорь дебалансом.

Кузов самосвала рекомендуется очищать после каждого рейса, а в конце смены промывать водой.

1.6.5. Выбор автотранспортных средств

При выборе автотранспортных средств для перевозки бетонной смеси необходимо учитывать расстояние (или время) транспортирования, класс дороги, погодные условия, подвижность смеси.

Максимально допустимое расстояние перевозки бетонной смеси ($L_{\text{доп}}$) рекомендуется ориентировочно принимать по табл. 29 и 30.

**Время и дальность транспортирования в автосамосвалах
разогретых бетонных смесей подвижностью до 3 см
по дорогам с жестким покрытием**

$t_{н.в}$ °С	$t_{б.н}$ °С	Предельно допустимые	
		дальность транс- портирования (км) при $V = 30$ км/ч	время транспорти- рования, мин
от –40 до –50	от +30 до +45	15	30
от –30 до –40	от +20 до +30	22,5	45
от –20 до –30	от +10 до +20	30	60
от 0 до –30	от +20 до +30	30	60
от 0 до –30	от +10 до +20	45	90

Примечание. При подвижности бетонной смеси более 3 см для определения предельной дальности и времени транспортирования следует пользоваться табл. 29.

При транспортировании бетонная смесь меняет свою подвижность, поэтому на заводе заранее должна быть учтена эта величина по формуле

$$OK_3 = \frac{OK_{об}}{\eta \cdot \mu}, \quad (9)$$

где OK_3 и $OK_{об}$ – подвижность бетонной смеси соответственно на заводе (до перевозки) и на строительном объекте (после перевозки); η – коэффициент потери подвижности, зависящий от дальности транспортирования, определяется по графику (рис. 7); μ – коэффициент потери подвижности, зависящий от температуры окружающей среды, принимается по табл. 31.

Бетонную смесь приходится транспортировать по дорогам с различным типом покрытия. Непременным условием в данном случае является ограничение приведенной дальности транспортирования смеси ($L_{прив}$), которая не должна превышать допустимой по дорогам с жестким покрытием, т. е.

$$L_{прив} \leq L_{доп}.$$

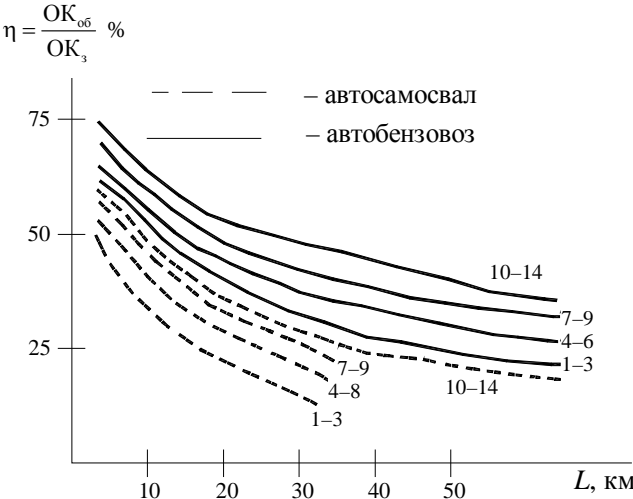


Рис. 7. Значение коэффициента подвижности в зависимости от дальности транспортирования бетонной смеси

Таблица 31

Температурный коэффициент потери подвижности смеси μ

Тип машины	Значение коэффициента μ при температуре окружающей среды, °C			
	от -20 до -4	от -5 до +5	от +6 до +20	от +21 до +30
Автобетоновозы	1,10	1,25	1,1	1
Автосамосвалы	1,25	1,4	1,25	1

Приведенная дальность транспортирования определяется как сумма произведений расстояний дорог с различным типом покрытия и коэффициента дорожного покрытия K_{qi}

$$L_{\text{прив}} = \sum_{n \leq i} L \cdot K_q = L_{\text{доп}} , \quad (10)$$

где i – количество участков с различным типом покрытия; L – длина таких участков, км; K_q – коэффициент дорожного покрытия (определяется по табл. 32).

Таблица 32

Значение коэффициента K_q

Вид покрытия дорог	Скорость перевоз-ки, км/ч	Тип автомашины		
		Авто-само-свал	Авто-бетоно-воз	Авто-бадье-воз*
Жесткое (асфальт, бетон, асфальтобетон и т. д.)	30	1	1	1
Мягкое (грунтовое улучшенное)	15	4	3,7	5

* Для автобадьевого на дорогах с жестким покрытием $V=25$ км/ч.

В этом случае (если $L_{\text{прив}}$ превышает допустимое расстояние) необходимо подобрать другой маршрут или применить автобетоносмеситель.

Снижение температуры бетонной смеси после ее транспортирования можно определить по формуле

$$t_{\text{тр}} = t_3 \pm n \cdot \Delta t_{\text{тр}}. \quad (11)$$

Знак минус берется в случае остывания смеси при перевозке в зимних условиях, знак плюс – в летних; t_3 – температура бетонной смеси в момент ее приготовления и загрузки автомашины; $\Delta t_{\text{тр}}$ – изменение средней температуры бетонной смеси в процессе ее транспортирования

$$\Delta t_{\text{тр}} = \Delta t'_{\text{тр}} \cdot \Delta T \cdot \tau, \quad (12)$$

где $\Delta t'_{\text{тр}}$ – изменение температуры бетонной смеси $\left(\frac{\text{град}}{\text{град} \cdot \text{мин}} \right)$

при транспортировке в течение одной минуты в условиях перепада температур бетонной смеси и окружающего воздуха в 1°C (значения $\Delta t'_{\text{тр}}$ приведены в табл. 33); ΔT – перепад температур

наружного воздуха и перевозимой бетонной смеси, град; τ – время транспортирования смеси, мин.

Таблица 33

**Изменение температуры $\Delta t'_{\text{тр}}$ при транспортировке
различными автосредствами**

Способ транспортирования	Марка транспорти- рующего устройства	Объем пере- возимой смеси, м ³	$t_{\text{б.п}}$ град/град × × мин
Автосамосвалы	ГАЗ-93	1,4	0,0037
	ЗИЛ-ММЗ-555	2	0,003
	МАЗ-500	3,2	0,0025
Автобадьевозы	Бадьа опрокидная прямоугольная	0,3	0,0022
	Бадьа цилиндрическая со шторно-роликовым затвором	1,6	0,0009

Значения $\Delta t_{\text{тр}} = \Delta t_{\text{ср}}$ (при $n = 1$) и $\Delta t_{\text{тр}} = \Delta t_{\text{тр}}^{\text{max}}$ (при $n = 2$) для автосамосвалов в зависимости от ΔT и τ можно ориентировочно определить по рис. 8; $n = 1$ при расчете средней температуры всей перевозимой массы, где n – коэффициент, зависящий от места расположения смеси в автосамосвале.

При определении минимальной (зимние условия) и максимальной (летние условия) температур верхнего и нижнего слоев перевозимой в автомашине смеси берем $n = 2$.

Количество транспорта, необходимое для перевозки бетонной смеси, при соблюдении заданного темпа бетонирования

$\frac{Q}{S} = Pi$ определяется из условия

$$\sum_{i=1}^n N = \frac{Q_i \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot L_{\text{тпи}}}{\omega_i \cdot S}, \quad (13)$$

где i – количество автомашин данного типа; Q – общий объем

$\Delta t_{\text{тр}}^{\text{max}}$ укладываемой бетонной смеси $Q = \sum_{i=1}^n Q_i$; Q_i – объем смеси,

перевозимой с данного завода в данном типе автомашины; $L_{\text{тp}i}$ – расстояние маршрута от завода до объекта, по которому производится перевозка смеси в данном типе автомашин; ω_i – выполняемая одним автомобилем полезная работа в тонно-километрах при перевозке бетонной смеси с данного завода на данный объект.

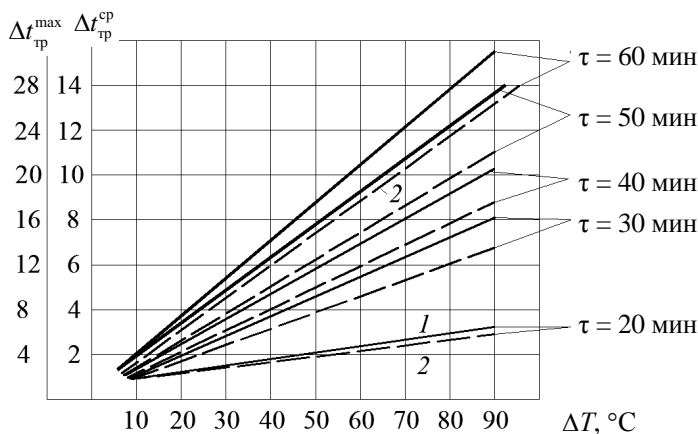


Рис. 8. Теплоизменение бетонной смеси при перевозке в автосамосвалах типа:

1 – МАЗ-5551-020; 2 – КАМАЗ-55111; τ – время транспортирования;

ΔT – перепад температуры бетонной смеси и наружного воздуха;

$\Delta t_{\text{тр}}^{\text{max}}$ – максимальное температурное изменение бетонной смеси, °C;

$\Delta t_{\text{тр}}^{\text{cp}}$ – среднее температурное изменение бетонной смеси, °C

$$\omega_i = n_i \cdot g_i \beta_i L_{\text{тp}i}, \quad (14)$$

где n_i – число оборотов данного автомобиля в смену; g_i – грузоподъемность автомашины; β_i – коэффициент использования

грузоподъемности; S – количество смен, в течение которых должно быть произведено бетонирование; P_i – масса перевозимого автомашиной груза $P_i = Q_i \cdot \gamma_6$; γ_6 – объемная масса бетонной смеси, равная $2,4 \text{ т/м}^3$.

$$n_i = \frac{T}{t_{об}},$$

где T – время одной смены; $t_{об}$ – время оборота одного автомобиля:

$$t_{об} = t_{ni} + t_{pi} + t_{mi} + t_{пер} + \frac{L_{гри}}{v_{гри}} + \frac{L_{пори}}{v_{пори}}, \quad (15)$$

где t_{ni} – время загрузки; t_{pi} – время выгрузки; t_{mi} – время маневров до разгрузки; $t_{пер}$ – дополнительное время для перемешивания смеси (для автобетоносмесителей); $L_{гри}$ – расстояние маршрута перевозки бетонной смеси от данного завода до данного объекта; $L_{пори}$ – расстояние маршрута порожнего рейса от данного объекта до данного завода; $v_{гри}$ – скорость автомашины с грузом; $v_{пори}$ – скорость автомашины без груза. В расшифрованном виде формула (13) будет следующей:

$$\sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n \frac{P}{T_{qi} \beta_i} \left(t_{ni} + t_{pi} + t_{mi} + t_{пер} + \frac{L_{гри}}{v_{гри}} + \frac{L_{пори}}{v_{пори}} \right). \quad (16)$$

Задача. Определить парк машин для транспортирования бетонной смеси. Запроектировать производство бетонных работ на нефтехимическом комбинате.

Бетонирование должно происходить в три этапа. На первом этапе, продолжающемся один месяц, темп бетонирования составляет $P_1 = 200 \text{ м}^3/\text{смену}$ ($\text{м}^3/\text{см.}$); на втором (в течение 2 месяцев) $P_2 = 500 \text{ м}^3/\text{см.}$, на третьем (в течение 3 месяцев) $P_3 = 250 \text{ м}^3/\text{см.}$ Доставка бетонной смеси на объект производится с 3 заводов. Мощность первого завода $200 \text{ м}^3/\text{см.}$, второго – $180 \text{ м}^3/\text{см.}$, третьего – $250 \text{ м}^3/\text{см.}$ Среднее расстояние

пробега груженого автомобиля l соответственно с первого завода до объекта составляет 8 км, с третьего – 40 км по асфальтированным дорогам.

Со второго завода существует 2 выездных пути: 1) 10 км по асфальтированной дороге и 2 км по проселочной; 2) 6 км по проселочной. Расстояние пробега груженых и порожних рейсов совпадает. Скорость движения груженого и порожнего автотранспорта по различным дорогам указана в табл. 34.

Таблица 34

Скорость пробега машин, км/ч

Тип пробега	Тип дорожного покрытия	Тип автомашины		
		Автосамосвал	Автобетоновоз	Автобетоносмеситель
Груженный	Жесткое	30	30	25
	Мягкое	15	15	15
Порожний	Жесткое	40	40	35
	Мягкое	20	20	18
Масса перевозимой за одну поездку смеси, т	–	6	7,68	7,68

Бетон, доставленный на объект, должен иметь подвижность $OK_{об} = 4-6$ см. Доставка идет при температуре наружного воздуха $+8^{\circ}C$.

Определить:

- 1) маршруты и типы машин, осуществляющие перевозки с завода на строительный объект;
- 2) количество автомашин, доставляющих смеси с каждого из заводов;
- 3) подвижность бетонной смеси.

Решение:

1. Бетонная смесь с первого и третьего заводов транспортируется по асфальтированной дороге одним маршрутом. С перво-

го завода бетон можно подавать автосамосвалами, так как расстояние от завода до объекта меньше допустимого ($l \leq l_{\text{доп}}$).

Третий завод находится на расстоянии 40 км. На это расстояние допускается транспортирование бетона с ОК = 1–3 см. Допустимое расстояние $l_{\text{доп}}$ для осадки конуса 4–6 см будет равно 30 км, отсюда

$$l = 40 \text{ км} > l_{\text{доп}} = 30 \text{ км}.$$

Таким образом, перевозка смеси с третьего завода не может осуществляться в автобетоновозах или автосамосвалах (см. табл. 29). В этом случае бетонную смесь необходимо транспортировать автобетоносмесителем. Учитывая, что транспортирование смеси со второго завода возможно двумя маршрутами, необходимо помимо типа автомашин выбрать также наиболее рациональный маршрут.

По проселочной дороге расстояние от второго завода до объекта 6 км, что больше $l_{\text{доп}}$ для автосамосвала и меньше $l_{\text{доп}}$ для автобетоновоза. Следовательно, по этой дороге можно везти смесь только автобетоновозом.

Приведенное расстояние при перевозке смеси автобетоновозом по проселочной дороге (второй маршрут) составит:

$$l_{2\text{прив}} = 6 \cdot 3,7 = 22,2 \text{ км}.$$

В первом маршруте (асфальтированная дорога) приведенное расстояние равно $l_{1\text{прив}} = 10 + 2 \cdot 3,7 = 10 + 7,4 = 17,4 \text{ км}$, следовательно, на этом маршруте необходимо применять автобетоновоз.

Сравнивая $l_{1\text{прив}}$ и $l_{2\text{прив}}$ устанавливаем, что транспортирование со второго завода на строительный объект должно осуществляться автобетоновозами по первому маршруту, несмотря на то, что он практически в два раза длиннее.

2. Определяем количество автомашин каждого типа для транспортирования бетонной смеси. Пооперационные затраты времени представлены в табл. 35.

Данные для расчета t цикла

Параметр перевозки	Автобетоно-смеситель	Автобетоно-воз	Автосамосвал
Время погрузки, мин	12	6	6
Время разгрузки, мин	15	1,5	3
Время маневрирования, мин	6	3	3
Время перемешивания, мин	15	—	—
Коэффициент использования грузоподъемности	1	0,96	0,96
Объем перевозимой за одну поездку смеси	2,5	3,2	3,2

Выход смеси из бетоносмесителей кратно $0,8 \text{ м}^3$. Для транспортирования смеси рекомендованы автосамосвалы и автобетоновозы. Объем перевозимого бетона в этом транспорте составит $3,2 \text{ м}^3$ (7,68 т). Коэффициент использования грузоподъемности автомобиля равен:

$$\beta = \frac{7,68}{8} = 0,96.$$

На первом этапе работ бетонная смесь будет подаваться с первого завода, который обеспечит заданный темп бетонирования.

$$P_1 = 200 \text{ м}^3/\text{см.}, \text{ т. е. } 200 \text{ м}^3 \cdot 2,4 = 480 \text{ т/см.}$$

В автохозяйстве имеются самосвалы грузоподъемностью 8 т. На первом этапе используется один тип автомашин ($i = 1$). Автосамосвал не перемешивает смесь в пути, поэтому $t_{\text{пер}} = 0$, следовательно, формула (13) примет вид

$$N_1 = \frac{P}{Tq_1\beta_1} \left(t_{n1} + t_{p1} + t_{m1} + \frac{l_{rp1}}{v_{rp1}} + \frac{l_{nopi}}{v_{nopi}} \right); \quad (17)$$

$$N_1 = \frac{480}{8 \cdot 8 \cdot 0,96} \left(0,1 + 0,025 + 0,5 + \frac{8}{30} + \frac{5}{40} \right) = 4,45 \approx 5.$$

На втором этапе необходим темп бетонирования $P_2 = 500 \text{ м}^3/\text{см.}$, для чего потребуется совместная работа всех трех заводов:

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

где $P_1 = 200 \text{ м}^3/\text{см.}$; $P_2 = 180 \text{ м}^3/\text{см.}$; $P_3 = 120 \text{ м}^3/\text{см.}$, или $P_1 = 480 \text{ т/см.}$; $P_2 = 432 \text{ т/см.}$; $P_3 = 288 \text{ т/см.}$

Общее количество машин определяется из условия

$$\sum_{i=1}^n N_i = N_1 + N_2 + N_3,$$

где N_1 – количество автосамосвалов; N_2 – количество автобетонозавозов; N_3 – количество автобетоносмесителей.

Найдем количество автобетонозавозов, перевозящих смесь со второго завода

$$N_2 = \frac{432}{8 \cdot 8 \cdot 0,96} \left(0,1 + 0,025 + 0,5 + \frac{17,4}{30} + \frac{17,4}{40} \right) \approx 9.$$

Количество автобетоносмесителей, перевозящих смесь с третьего завода, равно:

$$N_3 = \frac{288}{8 \cdot 6 \cdot 1} \left(0,2 + 0,25 + 0,1 + 0,25 + \frac{40}{30} + \frac{40}{40} \right) = 18,78 \approx 19.$$

Третий завод оставшуюся продукцию в количестве 130 м^3 будет поставлять другим стройкам.

На третьем этапе необходимый темп бетонирования ($P_3 = 250 \text{ м}^3/\text{см.}$) могут обеспечить первый и второй заводы, работая совместно, причем

$$P = P_1 + P_2,$$

где $P_1 = 200 \text{ м}^3/\text{см.}$, а $P_2 = 50 \text{ м}^3/\text{см.}$, или $P_1 = 480 \text{ т/см.}$, а $P_2 = 120 \text{ т/см.}$, причем $N_1 = 5$.

Количество автобетонозавозов, доставляющих смесь со второго завода, равно:

$$N_2 = \frac{120}{8 \cdot 8 \cdot 0,96} \left(0,1 + 0,025 + 0,5 + \frac{17,4}{30} + \frac{17,4}{40} \right) = 1,9 \approx 2.$$

Таким образом, на первом этапе, продолжающемся один месяц, в течение каждой смены бетонная смесь поставляется с первого завода пятью автосамосвалами. На втором этапе, продолжающемся два месяца, поставка бетона осуществляется одновременно с 3 заводов. С первого завода осуществляется подача бетонной смеси 5 автосамосвалами, со второго – 9 автобетоновозами, с третьего – 19 автобетоносмесителями.

На третьем этапе, продолжающемся три месяца, поставка бетонной смеси осуществляется одновременно с 2 заводов (с первого – 5 автосамосвалами, а со второго – 2 автобетоновозами).

3. Необходимо определить первоначальную подвижность бетонной смеси при выходе из бетономешалки с учетом ее снижения при транспортировании.

Дано: бетонная смесь, доставленная на строительный объект, должна иметь осадку конуса, равную 4–6 см. Доставка бетонной смеси осуществляется при температуре +8 °С.

Рассмотрим первоначальную ОК бетонной смеси, приготовляемой на каждом из трех заводов (см. например, рис. 7):

а) бетонная смесь, приготовленная на первом заводе, после перевозки в автосамосвалах на 5 км до объекта должна иметь подвижность $ОК_{об} = 4–6$ см, а первоначальная подвижность должна быть равна:

$$ОК_3 = \frac{ОК_{об}}{\eta \cdot \mu}. \quad (18)$$

Коэффициент потери подвижности η , зависящий от дальности транспортирования, будет равен 0,52, а коэффициент потери влажности μ , зависящий от температуры окружающей среды (см. табл. 31), равен 1,25, тогда

$$ОК_3 = \frac{5}{0,52 \cdot 1,25} \approx 7,7 \text{ см},$$

окончательно $OK_3 = 8$;

б) аналогично определяем подвижность бетонной смеси, приготавливаемой на втором заводе:

$$OK_3 = \frac{5}{0,43 \cdot 1,1} \approx 10 \text{ см};$$

в) при транспортировании сухой смеси с третьего завода в автобетоносмесителях все компоненты дозируются так, чтобы подвижность была порядка 4–6 см.

В табл. 36 наглядно представлен поэтапный график транспортирования бетонной смеси на строительный объект в три этапа с трех бетонных заводов.

Задача. Определить теплотери и температуру бетонной смеси в момент ее выгрузки.

Дано:

1) температура бетонной смеси при выходе с завода равна $+45^\circ\text{C}$; 2) расстояние от завода до строительного объекта равно 30 км; 3) температура наружного воздуха -30°C ; 4) дорога с жестким покрытием; 5) скорость движения груженого автотранспорта равна 30 км/ч; 6) применяется автотранспорт марки МАЗ-5551-020 и КАМАЗ-55111.

Определить:

1) теплотери бетонной смеси при ее перевозке; 2) среднюю температуру доставленной на объект смеси; 3) температуру наиболее охлажденной части смеси.

Решение:

Определяем перепад температуры бетонной смеси и окружающей среды

$$\Delta T = +45 - (-30) = 75^\circ\text{C}.$$

Определяем время транспортирования бетонной смеси

$$\tau = \frac{30}{30} = 1 \text{ ч} = 60 \text{ мин.}$$

Календарный план доставки бетонной смеси

Номер и адрес завода- поставщика	Мощность завода, м ³ /см.	Расстояние перевозок (км) по дорогам с покрытием			Характеристика бетонной смеси		Этапы бетонирования					
							I	II	III			
		Темп бетонирования, м ³ /см.										
		200	500	250								
		Объем бетонной смеси, доставляемой в смену по месяцам										
I	II	III	IV	V	VI							
Завод № 1	200	8	—	8	$\frac{200}{200}$	$\frac{8}{4-6}$	200	200	200	200	200	200
							x	x	x	x	x	x
							Доставка самосвалом					
							—	180	180	50	50	50
Завод № 2	180	10	2	12	$\frac{200}{200}$	$\frac{10}{4-6}$	—	xx	xx	xxxx	xxxx	xxxx
							Доставка бетоновозом					
							—	120	120	—	—	—
							—	xxx	xxx	—	—	—
Завод № 3	250	40	—	40	$\frac{200}{200}$	$\frac{\text{сухая}}{4-6}$	Доставка бетономесителем					

Условные обозначения: x – 5 автосамосвалов; xx – 9 автосамосвалов; xxx – 19 автосамосвалов; xxxx – 2 автосамосвала.

Определяем по графику (см. рис. 8) среднюю и максимальную теплопотери бетонной смеси при $\Delta T = 75^\circ \text{C}$ и $\tau = 60$ мин при транспортировании:

а) МА3-5551-020 – средняя 13°C , максимальная 26°C ;

б) КАМА3-55111 – средняя 11°C , максимальная 22°C .

Определяем среднюю температуру доставленной на объект смеси и температуру наиболее охлажденной ее части при транспортировании:

а) МА3-5551-020 – средняя $45^\circ \text{C} - 13^\circ \text{C} = 32^\circ \text{C}$,

– минимальная $45^\circ \text{C} - 26^\circ \text{C} = 19^\circ \text{C}$;

б) КАМА3-55111 – средняя $45^\circ \text{C} - 11^\circ \text{C} = 34^\circ \text{C}$,

– минимальная $45^\circ \text{C} - 22^\circ \text{C} = 23^\circ \text{C}$.

1.7. Укладка бетонной смеси

1.7.1. Общие положения

Укладка бетонной смеси состоит из следующих операций: подача к месту укладки, выгрузка, распределение, разравнивание и уплотнение. Перед укладкой необходимо подготовить и принять опалубку, составить акт на скрытые работы, а также определить следующие технические параметры:

1) состав бетонной смеси и ее технологические свойства (консистенция и подвижность);

2) способы подачи, распределения и уплотнения;

3) толщину и последовательность укладываемых слоев;

4) допустимую продолжительность перекрытия слоев;

5) необходимую интенсивность подачи бетонной смеси (поток бетона);

б) потребность в рабочей силе и механизмах.

Перед укладкой бетона основание должно быть очищено от мусора, грязи, снега, льда, масел, при необходимости промыто; вода, оставшаяся на поверхности, должна быть удалена. Если смесь укладывается на бетонное основание, то его предвари-

тельно необходимо подготовить, очистить поверхность бетона, не повредив ее, от цементной пленки. Для этого следует обеспечить прочность бетона в пределах:

а) 2–3 кгс/см² – при обработке водяной или воздушной струей;

б) 15–25 кгс/см² – при механической обработке;

в) 50 кгс/см² – при обработке пескоструйным аппаратом.

Для удаления цементной пленки с поверхности бетона не следует пользоваться ударными инструментами (отбойными молотками, бетоноломами, бучардами и т. д.), так как их применение ослабляет нижележащие слои бетона и ухудшает качество контакта между слоями.

Бетон (или раствор), укладываемый в контактный слой, должен быть тщательно проработанным и иметь прочность не ниже прочности бетона конструкции.

Во время укладки бетона необходимо постоянно следить за состоянием опалубки, при появлении смещения или деформации щитов следует немедленно их устранить.

Необходимо защищать поверхность бетонной смеси от попадания дождя при ее транспортировании и укладке, размывтый бетон следует удалять.

Подвижность бетонной смеси, укладываемой в монолитные изделия и конструкции, должна назначаться в соответствии с табл. 37.

Бетонирование конструкции сопровождается соответствующими записями в журнале бетонных работ:

- 1) дата начала и окончания бетонирования;
- 2) заданные класс бетона, рабочие составы и показатели ее подвижности (жесткости);
- 3) объемы выполненных бетонных работ во времени и по отдельным частям сооружения;
- 4) дата изготовления контрольных образцов бетона, их количество, маркировка, сроки и результаты испытания образцов;
- 5) температура наружного воздуха во времени;

6) температура бетонной смеси при укладке;

7) график остывания бетона на морозе.

Форма журнала и порядок его заполнения могут уточняться применительно к местным условиям. В табл. 38 приводится форма журнала ухода за бетоном.

При подаче и распределении бетонной смеси следует стремиться к тому, чтобы выбранные методы обеспечили минимальные трудозатраты и себестоимость на 1 м³ уложенного бетона.

Таблица 37

Подвижность бетонной смеси

Конструкции	Осадка конуса, см
1. Подготовка под фундаменты и полы, основания дорог и аэродромов	0–1
2. Покрытия дорог и аэродромов, армированные полы и малоармированные изделия и конструкции, подпорные стенки, фундаменты, блоки, конструкции, бетонируемые в горизонтально-скользящей опалубке	1–3
3. Массивные армированные конструкции, плиты, балки, колонны большого и среднего сечения (со стороной 0,4–0,8 м)	3–6
4. Тонкие стены, колонны, бункера, силосы, балки, плиты малого сечения толщиной до 120 мм и элементы сильно насыщенных арматурой конструкций: горизонтальных вертикальных	6–8 8–10
5. Конструкции, бетонируемые в вертикально-скользящей опалубке	6–8
6. Конструкции, сильно насыщенные арматурой и закладными деталями (стены АЭС, швы, штрабы, пазухи и т. п.), препятствующие укладке пластичных бетонных смесей с вибрированием	20–24

Таблица 38

Журнал ухода за бетоном

Конструкция (шифр)	Объем бетона	Метод выдерживания	Модуль поверхности, $\text{м}^2/\text{м}^3$	Дата укладки		№ температурных скважин	Начало выдерживания		Дата измерения и температура		Продолжительность выдерживания, ч	Число градусочасов	Средняя температура выдерживания	Маркировка контрольных образцов	Условия выдерживания образцов	Прочность образцов, $\text{кгс}/\text{см}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Примечание. Под началом выдерживания бетона (графы 8, 9) понимается время пуска пара либо включение электроэнергии при искусственном обогреве, либо время окончания бетонирования конструкции при методе термоса и приготовления бетонов с противоморозными добавками. В ведомости должно быть отмечено время прекращения пуска пара или выключения электрического тока и распалубливания конструкции.

Метод подачи бетонной смеси в изделия и конструкции в каждом отдельном случае определяется проектом производства работ. Вне зависимости от выбранного метода подачи высота свободного сбрасывания смеси не должна превышать 2 м, а при подаче на перекрытие – 1 м.

Для подачи бетонной смеси к месту укладки применяются бадьи и различные емкости в сочетании с башенными, козловыми, стреловыми, на гусеничном и пневмоходу кранами. Применяются также ленточные транспортеры, бетоноукладчики, бетононасосы и пневмонагнетатели, виброхоботы, виброжелоба и т. п.

1.7.2. Укладка бетонной смеси бадьями

При укладке бетонной смеси используется два вида бадьей – поворотные и неповоротные. Поворотные бадьи (галоши) загружаются из автосамосвалов, затем грузоподъемным механизмом разворачиваются, подаются к месту укладки смеси и разгружаются (рис. 9).

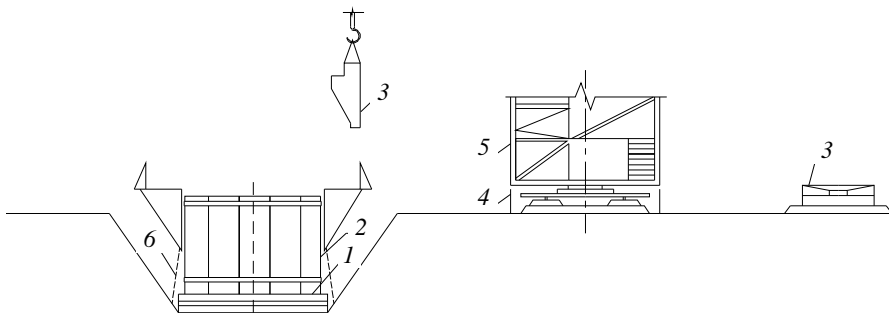


Рис. 9. Схема приемки и укладки бетонной смеси:

1 – блок опалубки нижней ступени; 2 – блок опалубки подколонника; 3 – бадья с бетонной смесью; 4 – ограждение крана; 5 – башенный кран; 6 – расчалка

Неповоротные бады могут загружаться на заводе из бетономешалки, а на строительной площадке – из автобетоновоза или автобетоносмесителя.

Бады должны быть:

- 1) герметичными, исключать потери цементного молока;
- 2) обеспечивать непрерывную и порционную выгрузку бетонной смеси;
- 3) транспортабельными;
- 4) обеспечивать приемку бетонной смеси с любого автотранспортного средства;
- 5) с гладкой внутренней поверхностью, обеспечивающей минимальное сцепление с бетонной смесью.

Затворы бадей должны быть удобными и надежными в эксплуатации, а грузозахватные приспособления – прочными и испытанными.

Применяются бады емкостью:

- 0,5–1 м³ – для бетонирования немассивных конструкций: фундаментов небольших объемов, колонн, балок, ригелей, тонкостенных покрытий и перекрытий;
- 1–2 м³ – для конструкций средней массивности: фундаменты под здания и сооружения, подпорные стенки, монолитные конструкции;
- от 2 м³ и более – для укладки бетона в массивные конструкции: фундаменты под компрессоры, доменные печи, блоки гидросооружений.

Технические характеристики бадей приводятся в прил. 2.

1.7.3. Применение грузоподъемных механизмов

1. Автомобильные краны имеют хорошую мобильность при сравнительно небольшой грузоподъемности, применяются при небольших объемах работ, как правило, при строительстве одноэтажных промышленных и сельскохозяйственных зданий.

2. Стреловые краны на гусеничном ходу используются при укладке бетонной смеси на высоту до 20 м и вылете стрелы до 30 м. Они обладают хорошей маневренностью и высокой проходимостью, работают на бровке котлована и с его подошвы.

3. Башенные краны грузоподъемностью от 3 до 8 т применяются для подачи бетонной смеси при строительстве многоэтажных промышленных и гражданских зданий (замоноличивание узлов, бетонирование ядра жесткости и т. д.), а также бетонирования высоких сооружений (башен, силосов, градирен и т. д.).

4. Башенные и портално-стреловые краны грузоподъемностью от 5 до 25 т применяются при строительстве гидросооружений. Они способны поднимать бетонную смесь на большую высоту при большом грузовом моменте.

5. Мостовые краны, как правило, используются при бетонировании фундаментов под оборудование, находящееся внутри здания. Строители обычно монтируют мостовые эксплуатационные краны до начала производства бетонных работ внутри здания.

6. Козловые краны используются при возведении одноэтажных промышленных зданий.

1.7.4. Укладка бетонной смеси ленточными конвейерами

Ленточные конвейеры бывают переставные и установленные на самоходной или прицепной базе (бетоноукладчики). Ленточные бетоноукладчики в свою очередь подразделяются на два типа – со стационарной и телескопической стрелами. Бетоноукладчики с телескопической стрелой (рис. 10) обеспечивают подачу бетонной смеси в радиусе до 20 м от оси вращения стрелы с поворотом ее на 360°. Они принимают бетонную смесь из автосамосвалов, автобетоновозов и подают ее к месту укладки.

Переставные ленточные конвейеры применяются при укладке бетонной смеси в монолитные конструкции с небольшими размерами в плане.

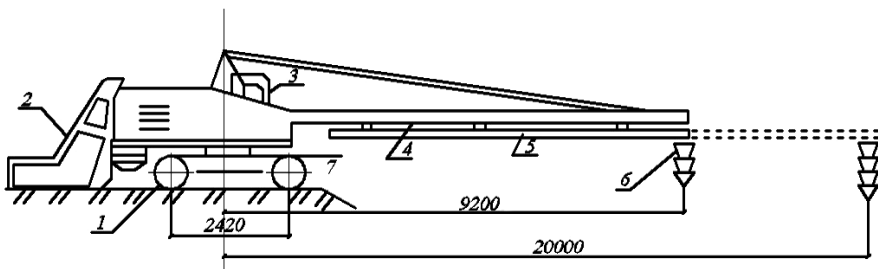


Рис. 10. Самоходный ленточный бетоноукладчик ЛБУ-20:

1 – гусеничная база; 2 – перегрузочный бункер; 3 – кабина; 4 – стационарная стрела ленточного конвейера; 5 – ленточный питатель; 6 – хобот; 7 – поворотная платформа

Ленточные бетоноукладчики применяются для бетонирования фундаментов и массивов при большом потоке смеси (не менее 20 м^3 в смену). Они позволяют вести бетонные работы с большими размерами в плане. Технические характеристики этих укладчиков даны в прил. 2.

Применение ленточных транспортеров при укладке бетонной смеси требует соблюдения следующих правил:

- 1) осадка конуса смеси не должна превышать 6 см;
- 2) угол наклона ленты должен быть в пределах данных табл. 39;
- 3) верхняя рабочая лента должна иметь лотковое очертание;
- 4) плоские ленты могут использоваться на конвейерах, имеющих общую длину не более 5 м;
- 5) скорость движения ленты не должна превышать 1 м/с;
- 6) подача бетонной смеси на транспортер должна осуществляться через устройства, обеспечивающие равномерную подачу смеси;
- 7) лента должна быть снабжена устройством для очистки от цементного раствора;
- 8) бетонная смесь из конвейера в конструкцию должна подаваться через воронку, которая предотвращает расслоение бетона.

Угол наклона ленты транспортера при подаче бетонной смеси

Осадка конуса, см	Угол наклона, град	
	при подъёме	при спуске
до 4	18	12
4–6	15	10

**1.7.5. Укладка бетонной смеси
вибрационными конвейерами**

Вибрационный конвейер состоит из вибропитателя и виброжелоба (вибrolотка) и применяется для подачи бетонной смеси в изделия и конструкции на расстояние не более 20 м (уклон к горизонту при температуре воздуха от +5 до +20 °С).

Вибропитатель предназначен для перемещения бетонной смеси на ограниченные расстояния. Он имеет широкую приемную часть (рис. 11) для загрузки бетонной смеси из автосамосвалов и узкую разгрузочную, выдающую смесь в конструкцию.

Смесь перемещается за счет вибрации, создаваемой двумя смонтированными рядом в наклонном положении вибраторами.

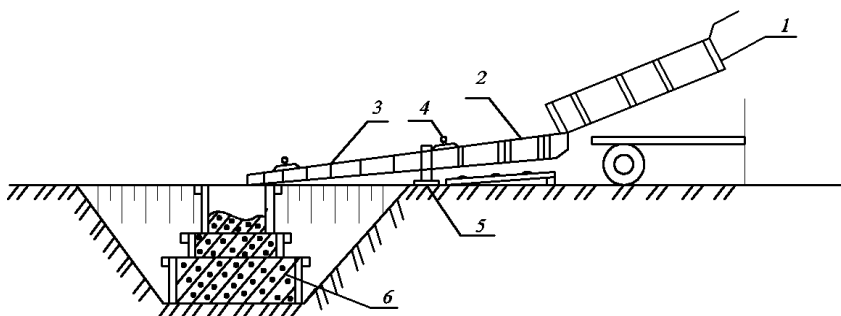


Рис. 11. Схема подачи бетона вибропитателями:

1 – автосамосвал; 2 – вибропитатель; 3 – виброжелоб; 4 – вибраторы; 5 – стойка; 6 – бетонированная конструкция

Виброжелоб используется для равномерного распределения бетонной смеси по поверхности бетонируемого изделия или конструкции, а также для загрузки приемной воронки хобота при бетонировании фундаментов в глубоких котлованах. Он представляет собой лоток полукруглого сечения диаметром 300–400 мм и высотой 200–350 мм. Длина вибротка не должна превышать 3,5 м, иначе производительность его резко снижается. Расстояние подачи бетонной смеси вибротками можно увеличить за счет установки ряда секций.

Бетонную смесь подают в виброжелоба при помощи вибропитателей, бункеров, хоботов и ленточных конвейеров. Производительность вибротков зависит от угла наклона и подвижности бетонной смеси (табл. 40).

Таблица 40

Производительность вибротков, м³/ч

Угол наклона вибротка к горизонту, град	Производительность вибротка							
	Подвижность бетонной смеси, см							
	1	2	3	4	5	6	7	8
5	5	6	7	8	9	11	14	17
10	6	8	9	11	13	16	21	27
15	8	10	13	16	19	23	33	43

1.7.6. Укладка бетонной смеси хоботами

Хобот применяют для подачи бетонной смеси на глубину от 2 до 10 м. Он представляет собой трубопровод, составленный из конусных звеньев, по которым бетонную смесь подают вертикально (рис. 12).

В поперечном сечении звенья имеют форму круга или квадрата. Диаметр (или сторона сечения) хобота должен быть в 3–4 раза больше максимальной крупности гравия или щебня в бетоне.

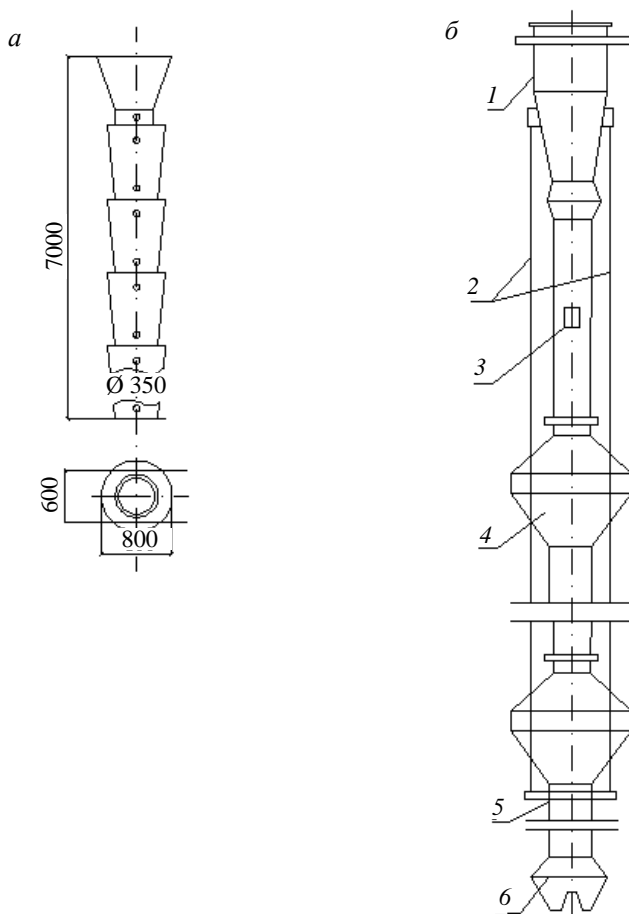


Рис. 12. Укладка бетонной смеси (а) хоботами и (б) виброхоботами:
 1 – воронка; 2 – трос; 3 – вибратор; 4 – промежуточный гаситель;
 5 – звено с двойными стенками; 6 – концевой гаситель

Длина звеньев может достигать 600–1000 мм, изготавливаются они из листовой стали толщиной 1,5 мм, соединяются между собой подвесками из арматурной стали и крючками. Верхнее звено хобота устраивается в виде воронки.

По мере уменьшения высоты спуска нижние звенья хобота снимаются. Для подачи бетонной смеси на глубину до 80 м применяются виброхоботы. Они собираются из цилиндрических звеньев длиной 1000–1500 мм с раструбным соединением. Равномерно по длине хобота через 2–3 секции устанавливаются вибраторы-побудители, а также промежуточные и концевые гасители, назначение которых – снижать скорость движения смеси.

Верхняя часть хобота выполнена из трубы диаметром в 2–3 раза больше нижней части.

Производительность виброхобота зависит в основном от оборота транспортных средств и от их емкости. Она лимитируется возможностью проработки вибраторами подаваемой бетонной смеси и практически достигает 25–30 м³/ч (при непрерывной подаче смеси – 150–200 м³/ч).

Для повышения производительности виброхобота, а также равномерного распределения бетонной смеси в бетонируемой конструкции используют малогабаритные электробульдозеры, поворотные лотки, вибропитатели, виброжелоба.

Технические характеристики хобота и виброхобота приведены в прил. 2.

1.7.7. Укладка бетонной смеси бетононасосами и пневмотранспортом

Применение бетононасосов и пневмотранспорта является одним из прогрессивных методов механизации процессов подачи и распределения бетонных смесей, повышающих качество и эффективность бетонных работ при возведении самых разнообразных монолитных и сборно-монолитных конструкций в промышленном, гражданском, гидротехническом, сельском и других видах строительства. Окончательное решение относительно применения бетононасосов и пневмотранспорта принимается на основании ТЭО с учетом особенностей их эксплуатации.

Так, бетононасосы с гидроприводом обеспечивают подачу бетонной смеси на расстояние 200–250 м по горизонтали и 50–80 м по вертикали, при этом производительность их достигает 40–60 м³/ч. Применение бетононасосов позволяет добиться снижения трудозатрат в 3–4 раза (по сравнению с крановой укладкой) на 1 м³ уложенного бетона.

Укладку бетонной смеси с помощью бетононасосов и пневмотранспорта целесообразно производить при интенсивности бетонирования конструкций не менее 6 м³/ч, а также в местах, недоступных другим средствам механизации.

Бетонная смесь, предназначенная для перекачивания по трубопроводам, должна быть удобоперекачиваемой и обладать повышенной связностью.

Удобоукладываемостью называется способность вязкопластичной бетонной смеси передвигаться по трубопроводу под действием давления, создаваемого поршнем бетононасоса или сжатым воздухом в пневмонагнетателе, на предельные расстояния без изменения однородности ее структуры.

Бетононасосы в зависимости от назначения могут применяться в виде стационарного, прицепного или самоходного оборудования, оснащенного бетоноводом или автономной распределительной стрелой (рис. 13).

В табл. 41 приведены основные варианты исполнения насосных и пневмонагнетательных установок, а в прил. 2 даны технические характеристики отечественных и зарубежных бетононасосов, применяемых у нас в стране.

Загрузка бетононасосов, как правило, производится из автобетоносмесителя, обеспечивающего большую однородность бетонной смеси и стабильность ее свойств. Бетонная смесь должна подаваться автобетоносмесителями непрерывно.

Перед пуском бетононасоса внутренняя поверхность бетоновода должна быть покрыта слоем смазки. Смазка может быть осуществлена одним из следующих способов:

- 1) пропуском порции известкового молока;

2) предварительной прокачкой известково-цементного раствора состава 1:2;

3) прокачкой порции бетонной смеси с повышенным содержанием цемента.

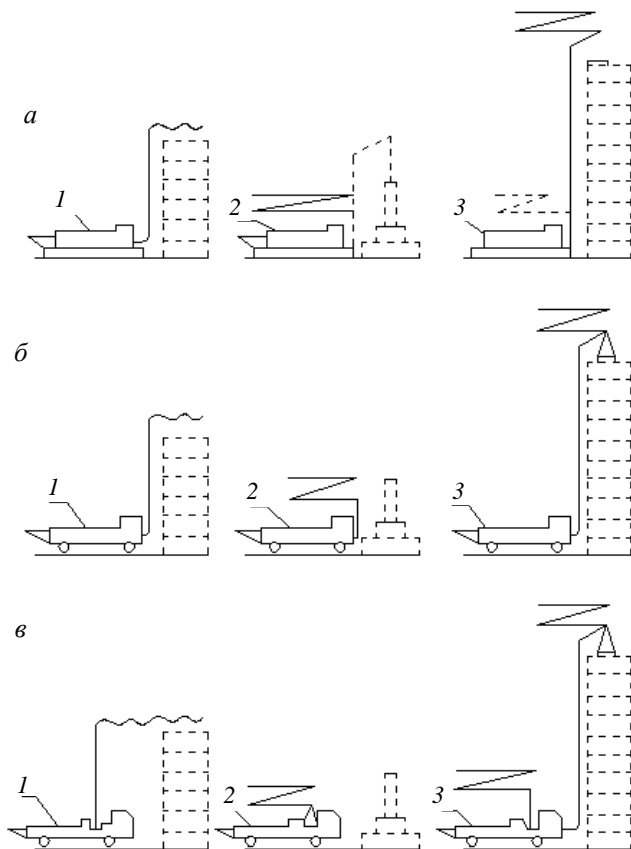


Рис. 13. Основные типы исполнения бетонотранспортных установок:
a – стационарные; *б* – прицепные; *в* – самоходные; 1 – с бетоно-
 водом; 2 – с распределительной стрелой; 3 – с бетоноводом
 и распределительной стрелой

**Варианты исполнения и назначения бетононасосных
и пневмонагнетательных установок**

Тип установки	Назначение
Бетононасосная стационарная производительностью до 20 м ³ /ч	Производство бетонных работ с интенсивностью подачи смеси до 10 м ³ /ч и при длительных сроках строительства
Бетононасосная стационарная производительностью до 60 м ³ /ч со стрелой	Производство бетонных работ при интенсивности бетонирования до 30 м ³ /ч
Бетононасосная стационарная производительностью до 20 м ³ /ч с собственной распределительной стрелой	Бетонирование массивных конструкций нулевого цикла при интенсивности потока бетонной смеси до 10 м ³ /ч и наличии на объекте кранов соответствующей грузоподъемности
Бетононасосная стационарная производительностью до 40 м ³ /ч с автоматной распределительной стрелой	Бетонирование конструкций нулевого цикла и надземных сооружений при интенсивности потока бетонной смеси до 20 м ³ /ч
Бетононасосная стационарная производительностью свыше 60 м ³ /ч с автоматной распределительной стрелой	Бетонирование конструкций нулевого цикла и надземных сооружений при интенсивности бетонирования свыше 30 м ³ /ч
Прицепная бетононасосная производительностью до 40 м ³ /ч	Бетонирование конструкций нулевого цикла и надземных сооружений при частых перебазировках установки с объекта на объект и сравнительно небольшой длине бетоновода
Прицепная бетононасосная с собственной распределительной стрелой	Бетонирование конструкций нулевого цикла и невысоких надземных сооружений при частых перебазировках с объекта на объект
Самоходная бетононасосная (автобетононасос) производительностью до 40 м ³ /ч	Бетонирование конструкций нулевого цикла и надземных сооружений при частых перебазировках установки как внутри объекта, так и с объекта на объект, и сравнительно небольшой длине бетоновода

Тип установки	Назначение
Самоходная бетононасосная с собственной распределительной стрелой (автобетононасос с распределительной стрелой) производительностью соответственно до 60 м ³ /ч	Бетонирование конструкций нулевого цикла и невысоких надземных сооружений при частых перебазировках с объекта на объект, необходимости использования высокой мобильности установки внутри объекта и интенсивности потока бетонной смеси соответственно до 20 и 30 м ³ /ч
Самоходная бетононасосная (автобетононасос) с автономной распределительной стрелой производительностью до 40 м ³ /ч	Комплексное бетонирование конструкций нулевого цикла и надземных сооружений на двух-трех объектах, расположенных недалеко один от другого, с установкой распределительных стрел на каждом объекте
Пневмонагнетательные установки стационарные	Строительство зданий и сооружений, ведущееся с небольшой интенсивностью подачи бетонной смеси
Пневмонагнетательные прицепные со скиповым подъемником	То же при необходимости перестановок в пределах одной площадки и перебазировании с объекта на объект

Нельзя допускать больших перерывов (более 15–20 мин) в подаче бетонной смеси по трубам. Чтобы избежать больших технологических и производственных перерывов, необходимо оставлять в приемном бункере насоса 100–200 л смеси для периодического подкачивания в бетоновод малыми порциями.

Основная причина, нарушающая ритмичную работу бетононасосов – закупорка бетоновода. Образование пробки в трубопроводе фиксируется показанием манометра. В данном случае необходимо немедленно остановить бетононасос или пневмонагнетатель и устранить причину образования пробок, очистить участок системы, в котором образовалась пробка, и только после этого вновь пустить установку.

Причины образования пробок в бетононасосах или пневмонагнетателях различные:

- 1) неправильный подбор состава бетонной смеси;
- 2) использование плохо перемешанной или начавшей схватываться бетонной смеси;
- 3) превышение допустимой длины трубопровода или чрезмерное количество колен;
- 4) плохая смазка трубопровода перед началом перекачки бетонной смеси;
- 5) утечка цементного молока в местах соединения звеньев бетоновода;
- 6) наличие вмятин или слоя схватившегося бетона на стенках бетоновода;
- 7) большой перерыв в работе бетононасоса или пневмонагнетателя;
- 8) сильный нагрев стенок бетоновода;
- 9) наличие остатков воды в изгибах или низких участках бетоноводов.

После окончания работы очищают трубопровод от бетонной смеси водой или сжатым воздухом. Промывку рекомендуют производить теплой водой.

1.7.8. Уплотнение бетонной смеси

Одной из основных технологических операций при производстве бетонных работ является уплотнение бетонной смеси, от качества которой в основном зависит плотность и однородность бетона, а следовательно, его прочность и долговечность.

Самым распространенным и наиболее экономичным способом уплотнения бетонной смеси является вибрирование. Сущность виброуплотнения заключается в передаче колебаний бетонной смеси от источника механических колебаний. Под

воздействием вибрации происходит разжижение бетонной смеси, равномерное ее распределение в опалубке изделий и конструкций, а также вытеснение содержащегося в бетонной смеси воздуха. Процесс разжижения смеси является обратимым. По окончании вибрирования прочность структуры бетонной смеси восстанавливается.

Бетонную смесь подвергают воздействию внутренних (глубинных), поверхностных и наружных вибраторов. Рабочая часть внутреннего вибратора (наконечник), погружаемая в бетонную смесь, передает ей колебания через корпус. Поверхностные вибраторы устанавливают на смеси, при этом колебания передаются через рабочую площадку.

Наружные вибраторы крепятся к опалубке при помощи тисков, болтов или другого захватного устройства и передают колебания через опалубку.

Технические характеристики вибраторов представлены в прил. 2.

Уплотнение бетонной смеси глубинными вибраторами производится в том случае, когда бетонируемая конструкция имеет большие размеры по высоте, а также большой процент армирования по сечению. Производительность глубинных вибраторов зависит от параметров вибрирования рабочего органа (частоты и амплитуды колебаний) и конструктивных параметров (диаметра и длины вибронаконечника).

Бетонную смесь в массивных конструкциях, как правило, уплотняют вибратором ИВ-112. Малоармированные и неармированные конструкции уплотняют вибраторами ИБ-113 и ИС-47Б. Вибраторы ИВ-108, ИВ-114, ИВ-95 применяются при укладке бетонной смеси в небольшие армированные конструкции.

Используют дебалансные ручные вибраторы ИВ-102, ИВ-103. Уплотняя смесь, вибронаконечник под собственным весом опускается в конструкцию и остается там в течение 10–15 с, а затем медленно поднимается.

Шаг перестановки вибратора не должен превышать 1,5 радиуса его действия (рис. 14). Радиус действия вибратора зависит от многих факторов: параметров вибронаконечника (амплитуда и частота колебания), подвижности бетонной смеси, степени армирования, формы конструкции и т. д.

Уплотнение бетонной смеси считается достаточным, когда прекращаются ее оседание и выделение больших пузырьков воздуха, а на поверхности появляется цементное молоко.

Поверхностные вибраторы рекомендуется применять при уплотнении бетонной смеси, укладываемой в дорожные и монолитные покрытия, перекрытия зданий и сооружений. Толщина изделий и конструкций, уплотняемых поверхностными вибраторами, не должна превышать 25 см, в противном случае необходимо сочетать применение глубинных и площадочных вибраторов. Скорость перемещения вибратора зависит от осадки конуса бетонной смеси, процента армирования, вида заполнителя и равняется $\approx 0,5\text{--}7$ м/мин.

Виброуплотнение следует вести в два-три приема. Частота поверхностного вибрирования должна составлять 2800–6000 кол/мин, при этом амплитуда колебания должна составлять 0,2–0,6 мм.

Наружные навесные вибраторы эффективны при бетонировании тонкостенных конструкций (резервуаров, градирен, дымовых труб и т. д.). В густоармированных конструкциях рекомендуется применять также и глубинные вибраторы в сочетании с навесными.

Для обеспечения равномерного уплотнения бетонных изделий и конструкций расстояние между вибраторами необходимо выбирать так, чтобы оно не превышало величины

$$L_{\max} \leq \sqrt[4]{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot \omega^2}}, \quad (19)$$

где E – модуль упругости материала опалубки, кгс/см²; I – момент инерции сечения элемента опалубки, см²; ρ – масса 1 м опалубки (формы); ω – частота вынужденных колебаний, с⁻¹.

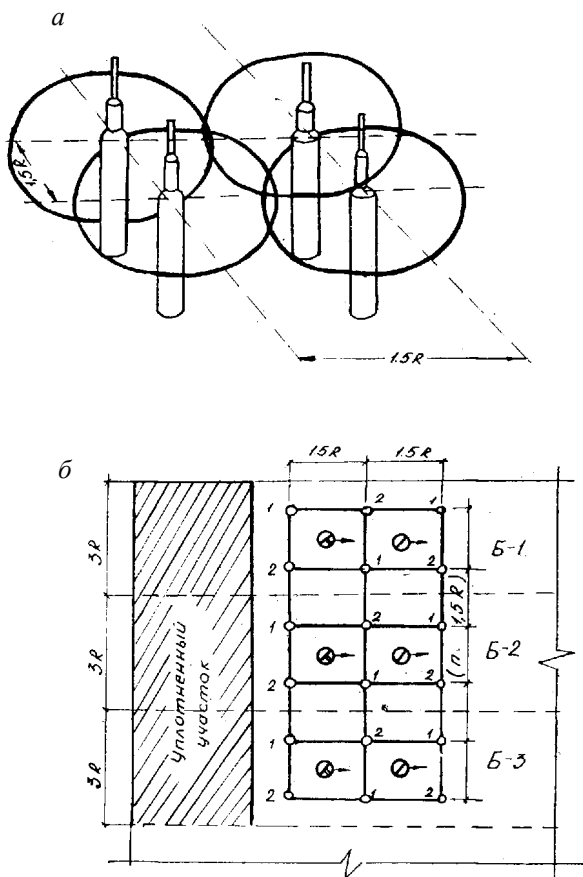


Рис. 14. Работа с глубинным вибратором:

а – схема перестановки вибраторов с одной позиции на другую;
б – принципиальная схема расстановки и перемещения бетонщиков с вибраторами при уплотнении бетонной смеси; R – радиус действия вибратора, значком «кружок» обозначены рабочие места; 1, 2 – очередность вибрирования

В расчете и конструировании опалубки должны быть учтены динамические нагрузки от изгибаемых колебаний, создаваемых наружными вибраторами.

2. ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ТЕРМОСА

2.1. Основные положения

Производство бетонных изделий и конструкций методом термоса нашло широкое применение на стройках нашей страны в 1930-х годах.

Так, при строительстве Магнитогорского и Нижнетагильского металлургических комбинатов, канала Москва – Волга, завода в Краматорске, Цимлянского гидроузла, Днепростроя был применен метод термоса при зимнем бетонировании.

Этот метод наиболее эффективен при бетонировании изделий и конструкций большой массивности, при использовании быстротвердеющих портландцементов и эффективных теплоизоляционных материалов (особенно при умеренных морозах). Он успешно применяется и при бетонировании конструкций средней массивности. Степень массивности конструкции характеризуется модулем ее поверхности, представляющим собой отношение площади охлаждаемых поверхностей конструкции $F_{\text{ост}}$ к ее объему V :

$$M_{\text{п}} = \frac{F_{\text{ост}}}{V}, \quad \frac{M^2}{M^3} = M^{-1}.$$

Сущность этого метода состоит в том, что бетонная смесь изготавливается на подогретых заполнителях, затем транспортируется на строительную площадку, интенсивно укладывается в опалубку и утепляется. Бетон набирает заданную прочность во время остывания до 0 °С за счет начального теплосодержания и экзотермического тепловыделения цемента. Применяя этот метод, необходимо обеспечить условия сохранения положительной температуры в теле бетона (обычная бетонная смесь при укладке имеет начальную температуру не ниже +15 °С).

2.2. Область применения

Метод термоса следует применять при производстве бетонных работ в зимних условиях со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а минимальной – ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Бетонные работы необходимо производить только при наличии проектов производства работ.

Использование этого метода можно расширить за счет повышения начальной температуры, применения цементов с повышенным тепловыделением и быстротвердеющих химических добавок, поверхностно-активных веществ (ПАВ). Иногда целесообразно сочетать метод термоса с электрообогревом конструкции по ее периметру, тогда этот метод может применяться в конструкциях с модулем поверхности до 12. В табл. 42 приведен рекомендуемый вид конструкций, выдерживаемых методом термоса. За начальную температуру ($t_{б.н.}$) принимается температура бетона, уложенного в опалубку сразу после его уплотнения и укрытия. При составлении проекта производства работ на укладку бетона в зимних условиях необходимо знать расчетную месячную температуру наружного воздуха ($t_{н.в.}$) и скорость ветра. В табл. 43 приведены расчетные температуры наружного воздуха и скорость ветра в зимний период для некоторых районов территории России и стран СНГ по месяцам.

Если в табл. 42 отсутствуют необходимые данные, следует пользоваться формулой

$$t_{н.в.} = t_{ср}^{\text{мес}} - \frac{\Delta t_{\text{max}}}{2}, \quad (20)$$

где $t_{ср}^{\text{мес}}$ – среднемесячная температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; Δt_{max} – максимальная амплитуда суточных колебаний для данного месяца, $^{\circ}\text{C}$.

2. Технология бетонирования с применением метода термоса

Таблица 42

Рекомендуемый вид конструкций, выдерживаемых методом термоса

М _п	t _{н.в.} , °С	Конструкции	При укладке бетонной смеси					
			с температурой до t _{б,с} = +35 °С			предварительно разогретой до t _{б,с} = +70 °С при t _{б,н} = +50 °С		
			Метод выдерживания бетона	Цемент	Марка цемента	Метод выдерживания бетона	Цемент	Марка цемента
До 3	До -20	Массивные фундаменты, гидротехнические сооружения	«Термос»	ШПЦ, портландцемент	300–400 300	«Термос» с укладкой разогретой бетонной смеси в ядро конструкции	ШПЦ, пуццолановый портландцемент, портландцемент	300–400 300
	От -21 до -40	То же	«Термос» с добавками-ускорителями твердения	Портландцемент, ШПЦ	400 500	То же	ШПЦ, портландцемент	400–500 400
4–5	До -20	Фундаменты зданий, массивные фундаменты под оборудование, монолитные стены толщиной 40–50 см, балки высотой > 70 см	То же	Портландцемент, ШПЦ	400 500	«Термос»	ШПЦ, портландцемент	400 300
	От -21 до -40	То же	«Термос» с прогнвоморозными добавками	Портландцемент	500–600	«Термос» с добавками-ускорителями твердения	Портландцемент	500

Окончание табл. 42

М _п	t _{н.в.} , °C	Конструкции	При укладке бетонной смеси					
			с температурой до t _{6,c} = +35 °C и t _{6,n} = +25–30 °C			предварительно разогретой до t _{6,c} = +70 °C при t _{6,n} = +50 °C		
			Метод выдерживания бетона	Цемент	Марка цемента	Метод выдерживания бетона	Цемент	Марка цемента
6–8	До –20	Фундаменты под колонны и оборудование. Колонны сечением 50–70 см и балки высотой 50–70 см, стены и плиты толщиной 25–30 см	«Термос» с добавками-ускорителями твердения или противоморозными добавками	Портландцемент	500–600	«Термос» с добавками-ускорителями твердения	ШПЦ, портландцемент	400–500
			То же или в сочетании с предварительным разогревом	То же	600	«Термос» с добавками-ускорителями твердения и нитритом натрия	Портландцемент	500–600
8–12	До –20	Рамные конструкции, колонны сечением 30–40 см, плиты и стены толщиной 20–25 см, балки сечением 30–40 см, покрытия дорог	«Термос» в сочетании с греющей опалубкой	Портландцемент	500–600	«Термос» с добавками-ускорителями твердения и нитритом натрия	Портландцемент	500–600
			Не рекомендуется	–	–	«Термос» в сочетании с греющей опалубкой	То же	500–600

Таблица 43

Расчетная $t_{н.в}$ и скорость ветра в зимний период
для различных пунктов территории России и стран СНГ

Пункт	Месяц										Скорость ветра, м/с
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V		
Абакан	–	–11,2	–21,2	–32,6	–36,2	–32,1	–27,9	–12,6	–	6,5	
Актюбинск (Республика Казахстан)	–	0	–17,5	–24,9	–25,6	–27,3	–19,6	–6,8	–	7,4	
Алдан (Якутия)	–	–17,1	–29,8	–38,9	–39,2	–36,6	–26,6	–16,4	0	4,1	
Архангельск	–	–6,7	–12,5	–20,8	–23,7	–22,8	–19,5	–10,6	–	7,4	
Ашхабад	–	–	–	0	0	0	–	–	–	2,8	
Барнаул	–	–9,9	–20,7	–28,5	–31,2	–29	–22,6	–12,2	–	5,9	
Баку	–	–	–	–	0	0	–	–	–	8,4	
Братск	–	–15	–24,7	–35,8	–38,2	–35,9	–23,4	–14	–	3,4	
Брест	–	–	–5,8	–11,5	–12,5	–13	–8,9	–	–	5,2	
Владивосток	–	–	–10,2	–20,3	–23,0	–18,4	–11,3	0	–	9	
Воркута	0	–14	–27,2	–33,8	–33,9	–33,5	–31	–21,4	–12,6	10,1	
Воронеж	–	–	–9,2	–17,4	–20,5	–19	–13,3	–	–	5,4	
Верхоянск	–10,4	–27,8	–50,4	–58,3	–64,9	–51,6	–46,3	–30	–10,8	2,1	
Гурьев (Республика Казахстан)	–	–3,1	–9,9	–16,3	–20,5	–21	–12,3	–	–	7,8	
Енисейск	–	–11,5	–26,4	–37,3	–34,7	–33,2	–26,4	–15,6	–	3,7	
Калининград	–	–	0	–7,6	–14,8	–12,5	–10	–	–	4,5	
Караганда	0	–9,8	–18,8	–28,8	–30,8	–28,6	–20,6	–8,7	–	7,7	
Комсомольск-на-Амуре	–	–6,6	–20,2	–32,6	–35,4	–31,3	–21,9	–9,4	–	5,7	
Котлас	–	–7,8	–15,8	–23,2	–26,9	–24,1	–20,7	–11,4	–	5,6	

Окончание табл. 43

Пункт	Месяц										Скорость ветра, м/с
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V		
Краснодар	–	–	–	–10,7	–14,4	–14,6	0	–	–	3,6	
Красноярск	–	–9,5	–21,3	–28,6	–29,9	–33,1	–20,3	–9,9	–	6,2	
Санкт-Петербург	–	0	–8,5	–14,9	–17,9	–19,1	–13,5	–7,05	–	4,2	
Магадан	–	–10,6	–21,7	–25,3	–30,9	–28,8	–24,2	–13,3	–5,5	6,6	
Москва	–	–	–8	–19,1	–20,4	–19,1	–13,2	–4,5	–	4,9	
Норильск	–	–14,7	–30,5	–34,1	–37,1	–36,9	–29,1	–22,4	–8,8	6,6	
Новосибирск	–	8,9	–23,9	–29,8	–34,1	–29,1	–22,1	–10,7	–	5,7	
Омск	–	–9,2	–22,5	–30	–32,2	–31,7	–22,9	–11,1	–	5,1	
Павлодар	–	–7,6	–19,8	–27,7	–33,1	–32,6	–23,8	–9,4	–	6,7	
Печера (Респ. Коми)	–	–9,7	–23,5	–31,6	–33,4	–31,5	–27,9	–17,3	0	5,5	
Екатеринбург	–	–8,5	–17,1	–27,4	–16,3	–25,2	–19,3	–7,8	–	5	
Сыктывкар	–	–8,1	–17,1	–25,8	–27,7	–26,5	–20,7	–12,2	–	5,5	
Томск	–	–9,3	–23,7	–30,5	–33,4	–29,6	–23,5	–12,3	–	5,6	
Таллин	–	–	–5,5	–11,9	–12,5	–16,5	–10,8	–6,1	–	7,7	
Талды-Курган	–	–	–15,6	–20,6	–27,1	–24,9	–13,5	–	–	2,1	
Тайшет (Иркут. обл.)	–	–15	–25,2	–32,8	–34,4	–32,5	–26,4	–13,9	–	6,4	
Тбилиси	–	–	–	0	0	0	–	–	–	3,9	
Тобольск	–	–8	–20,9	–28	–31,3	–28,9	–22,7	–9,7	–	6,3	
Тура (Краснояр. край)	–7,5	–18,7	–38	–49,8	–50,5	–43,8	–35,6	–23,8	–10,3	2,7	
Улан-Удэ	–	–11,4	–21,9	–31,7	–35,5	–32,4	–23,2	–11,1	–	6,1	
Усть-Мая (Якутия)	–	–19,3	–40,7	–43,3	–52,3	–48,6	–36,7	–20,9	–	2,2	
Астана	–	–9,1	–22	–28,3	–31,7	–28,5	–22,9	–10,6	–	7,7	
Чарча (Читинская обл.)	–	–18	–35,2	–45,5	–48,5	–44,9	–35,6	–21,5	0	5,2	
Чита	–	–13,7	–25,5	–37,4	–40,3	–37	–26,2	–14,5	–	3,9	
Южно-Сахалинск	–	–	–12,5	–21,7	–26,6	–28,6	–19,7	–11,8	–	8,5	

В период остывания изделий и конструкций в зимних условиях необходимо также знать величину коэффициента теплообмена, который зависит от скорости ветра, перепада температур, конфигурации изделия, наличия оребрения на поверхности оснастки и ее теплофизических характеристик, а также угла набегающего от ветра потока.

В настоящее время зависимость коэффициента теплообмена от вышеперечисленных факторов окружающей среды изучена крайне слабо. Значения его в основном получены путем расчета остывания бетона на морозе.

В табл. 44 приведены значения коэффициента теплообмена металлической опалубки при диапазоне наружной температуры от +20 °С до –40 °С и скорости ветра от 1 до 15 м/с, полученные экспериментальным путем на аэродинамическом стенде. Методика эксперимента и обработка данных по определению коэффициента теплоотдачи приведены в работе А.И. Гныри «Внешний тепло- и массообмен при бетонировании с электроразогревом смеси».

Таблица 44

Коэффициенты теплообмена

Форма конструкции	Значение коэффициента теплообмена при скорости ветра, м/с							
	1	3	5	7	9	11	13	15
Прямоугольная призма (угол атаки ветра $f = 45^\circ$)	5,4	10,31	14,07	17,3	20,08	22,28	24,71	27,19
Опалубка с гладкой поверхностью (протяженная)	6,56	15,81	23,79	31,13	38,07	44,7	51,1	57,28
Опалубка с оребренной поверхностью (ребра от поверхности опалубки изолированы тепловой защитой)	4,1	9,8	17,2	–	–	27,0	–	38,0

Форма конструкции	Значение коэффициента теплообмена при скорости ветра, м/с							
	1	3	5	7	9	11	13	15
$\alpha_{\text{л}}$ любой конфигурации опалубки	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38
$\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}$ оребренной опалубки	6,48	12,18	19,58	—	—	29,38	—	40,38
То же гладкой опалубки	8,94	18,19	26,17	33,51	40,45	47,08	53,48	59,66
То же прямоугольная призма	7,78	12,69	16,45	19,68	22,46	24,66	27,09	29,57

Величина коэффициента теплопередачи $K_{\text{т}}$ для конкретных конструкций опалубок в зависимости от скорости ветра приведена в табл. 45.

Таблица 45

**Коэффициент теплопередачи опалубки
различной конструкции $K_{\text{т}}$**

Тип опалубки	Материал	Толщина слоя, мм	Коэффициент		
			Скорость ветра, м/с		
			0	5	15
I	Доска	25	2,44	5,2	5,98
II	Доска	40	2,03	3,6	3,94
III	Доска	25	1,8	3	3,25
	Толь	—			
	Доска	25			
IV	Доска	25	0,67	0,8	0,82
	Пенопласт	30			
	Фанера	4			

Тип опалубки	Материал	Толщина слоя, мм	Коэффициент		
			Скорость ветра, м/с		
			0	5	15
V	Доска	25	0,87	1,07	1,1
	Толь	—			
	Вата минеральная	50			
	Фанера	4			
VI	Металл	3	1,02	1,27	1,33
	Вата минеральная	50			
	Фанера	4			
VII*	Фанера	10	2,44	5,1	5,8
	Асбест	4			
	Фанера	10			
VIII	Толь	—	0,74	0,89	0,9
	Опилки	100			
IX	Толь	—	1,27	1,77	1,87
	Шлак	150			
X	Толь	—	1,01	1,31	1,37
	Вата минеральная	50			

* Применяется с сетчатым нагревателем, расположенным между слоями асбеста.

2.3. Теплотери бетонной смеси

Процесс испарения, происходящий при контакте бетонной смеси с окружающим воздухом, является комплексным. Он содержит в себе явления переноса тепла и массы вещества (то есть влаги), а также сопровождается изменением термосостояния паровоздушной среды.

Теплообмен изделий и конструкций с внешней средой происходит за счет конвекции и лучеиспускания. Интенсивность конвективного теплообмена зависит в основном от скорости воздушного потока окружающей среды, а лучеиспускание – от разности температур. Теплотери бетонной смеси также

возрастают с увеличением продолжительности формирования, разности температур поверхности смеси и окружающей среды, площади открытой поверхности испарения, сечения и высоты падения смеси из емкости в опалубку конструкции, скорости и угла атаки ветра и т. д.

Теплопотери бетонной смеси в процессе укладки складываются из трех величин: тепла, теряемого за счет теплопроводности, конвекции и лучеиспускания.

Величина теплового потока, как известно, определяется выражением

$$Q = \alpha(t_{\text{п}} - t_{\text{н.в}}), \quad (21)$$

где Q – тепловой поток, исходящий в окружающую среду; α – коэффициент теплообмена; $t_{\text{н.в}}$ – температура наружного воздуха; $t_{\text{п}}$ – температура поверхности бетонной смеси.

В свою очередь, коэффициент теплообмена равен:

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}},$$

где $\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент теплообмена конвекцией; $\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент лучистого теплообмена.

Коэффициент конвективного теплообмена является составной частью термического критерия Нуссельта

$$\text{Nu} = \frac{\alpha_{\text{к}} \cdot L}{\lambda},$$

где $\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/м²·°С; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С.

Коэффициент лучистого теплообмена $\alpha_{\text{л}}$ определяется по известной формуле

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\varepsilon_{\text{п}} \cdot C_0}{t_1 - t_2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (22)$$

где C_0 – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела, равный 5,7 Вт/м²·°С; $\varepsilon_{\text{п}}$ – приведенная степень черноты; t_1 –

температура поверхности, излучающей тепло; t_2 – температура поверхности, поглощающей тепло.

Пользуясь критерием Нуссельта, можно составить выражение, определяющее величину потока тепла, Вт:

$$Q = \text{Nu} \frac{\lambda}{L} (t_1 - t_2) F, \quad (23)$$

где t_1 и t_2 – температура поверхности и окружающей среды.

Общий же вид функции термического критерия Нуссельта для случая теплообмена, осложненного массообменом, запишется в следующем виде:

– для условий естественной конвекции

$$\text{Nu} = f_1 (\text{Ar} \cdot \text{Pr}); \quad (24)$$

$$\text{Ar} = \frac{L^3 q}{\nu^2} \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1},$$

где $L = \sqrt{F}$ – определяющий размер, м; q – ускорение силы тяжести, м/с^2 ; γ_1 и γ_2 – плотность влажного газа на поверхности и в ядре потока, кг/м^3 ; ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$;

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a},$$

здесь a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; ν – для условий вынужденной конвекции

$$\text{Nu} = f_2 (\text{Re}, \text{Pr}, \text{Gu}, \theta), \quad (25)$$

где $\text{Re} = \frac{\nu \cdot L}{\nu}$; ν – скорость воздушного потока, м/с ;

$$\text{Gu} = \frac{T_C - T_M}{T_C}; \quad \theta = \frac{T_C}{T_M},$$

где (T_C и T_M) – абсолютные температуры окружающей среды (по сухому и мокрому термометру).

2.4. Аккумуляция тепла телами, соприкасающимися с бетоном

Снижение температуры бетонной смеси в первые минуты после укладки происходит за счет аккумуляции тепла телами, имеющими температуру намного ниже температуры бетонной смеси. К ним относятся опалубка, утеплитель, арматура, закладные детали и монтажные петли.

Экспериментальными данными, полученными в производственных условиях, было установлено, что в металлических формах и при большом проценте армирования снижение температуры смеси достигает 25 % от общей аккумуляции тепла. Еще в 1935 г. С.А. Миронов предложил учитывать снижение температуры от аккумуляции тепла опалубкой, однако и в настоящее время не рассчитывается количество тепла, поглощаемое опалубкой, арматурой и т. д.

Количество аккумулированного тепла телами, соприкасающимися с бетонной смесью, зависит также от их теплофизических характеристик (см. табл. 58, 96).

Зависимость снижения температуры бетонной смеси от аккумуляции тепла телами, соприкасающимися с ней, описывается уравнением с учетом их теплоемкости

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{mi} \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^n C_{mi}}. \quad (26)$$

Для учета $i = 1$ неполноты прогрева опалубки после укладки бетонной смеси вводился критерий степени прогрева, равный отношению разности температур опалубки и наружного воздуха к разности температуры бетонной смеси и воздуха:

$$K = \frac{Q_{\text{оп}}}{Q_0} = \frac{t_{\text{оп}} - t_{\text{н.в.}}}{t_0 - t_{\text{н.в.}}}. \quad (27)$$

Средняя температура опалубки при снятии температурных полей по ее сечению равна полусумме температуры наружной поверхности и внутренней опалубки, соприкасающейся с телом бетона. Температура внутренней опалубки, в свою очередь, ориентировочно равна температуре бетонной смеси. С использованием одномерной модели в квазистационарном приближении за малый промежуток времени температура бетона и наружного воздуха практически не изменялась. При этом температура наружной поверхности опалубки может быть определена по формуле

$$t_{н.п} = t_{б} - (t_{б} - t_{н.в}) \left(\frac{R_{т.с} - R_{н.п}}{R_{т.с}} \right), \quad (28)$$

где $R_{т.с}$ – тепловое сопротивление опалубки, а $R_{н.п}$ – тепловое сопротивление ее наружной поверхности. Общая аккумуляция тепла опалубкой зависит от объемной теплоемкости опалубки, ее объема, модуля поверхности и толщины

$$\begin{aligned} q &= C_{оп} \cdot m_0 (t_{оп} - t_{н.в}) = \\ &= C_{оп} \cdot \gamma_{оп} \cdot M_{п} \cdot \delta_{оп} \cdot K_{ак} (t_{б} - t_{н.в}), \end{aligned} \quad (29)$$

где $C_{оп}$ – удельная теплоемкость опалубки; m_0 – вес опалубки; $t_{оп}$ – средняя температура опалубки; $t_{н.в}$ – температура наружного воздуха. Отсюда снижение температуры бетонной смеси от нагрева опалубки на 1 °С составит:

$$\Delta t_{оп} = \frac{(\sum C_{оп}) \cdot \gamma_{оп} \cdot M_{п} \cdot \delta_{оп} \cdot K_{ак}}{C_{б} \cdot m_{б} + (\sum C_{оп}) \cdot \gamma_{оп} \cdot M_{п} \cdot \delta_{оп} \cdot K_{ак}}. \quad (30)$$

Аналогичным путем можно рассчитать снижение температуры бетонной смеси от нагрева арматуры, закладных деталей, монтажных петель и т. д.

$$\Delta t_a = \frac{C_a \cdot m_a (t_{б} - t_{н.в})}{(C_{б} \cdot m_{б} - C_a \cdot m_a) (t_{б} - t_{н.в})} = 0,002 \cdot m_a. \quad (31)$$

Основные достоинства предлагаемых формул – это простота расчета при учете снижения температуры смеси в первые часы при интенсивной потере тепла.

Таким образом, проведенные исследования и теоретические расчеты установили зависимость снижения температуры бетонной смеси от аккумуляции тепла опалубкой, арматурой и закладными деталями с учетом уточненных теплофизических характеристик материалов для различных видов опалубки.

2.5. Влияние температуры на нарастание прочности бетона

Зависимость прочности бетона на цементах различных видов и марок от температуры (в пределах от -3 до $+50$ °C) приведена на рис. 15–19, а также в табл. 46–51. Эти таблицы и графики нарастания прочности составлены для бетонов с подвижностью смеси 1–3 см.

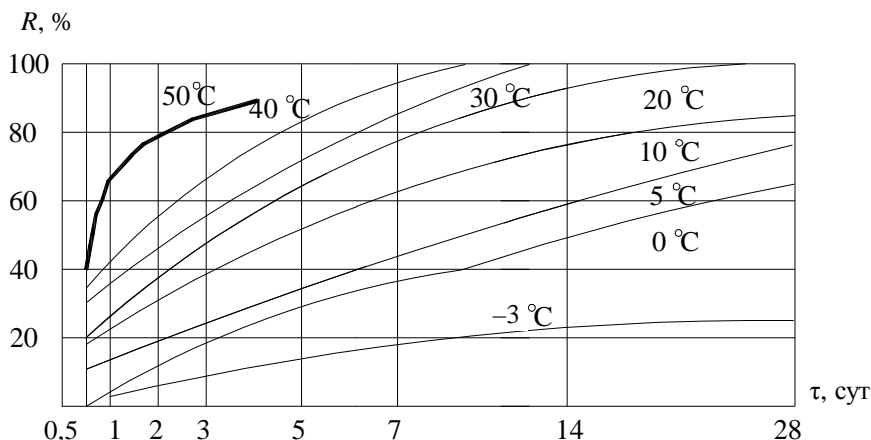


Рис. 15. Нарастание прочности бетона классов В15 – В22,5 на портландцементе М400 (в % от R_{28}) при температурах от -3 до $+50$ °C

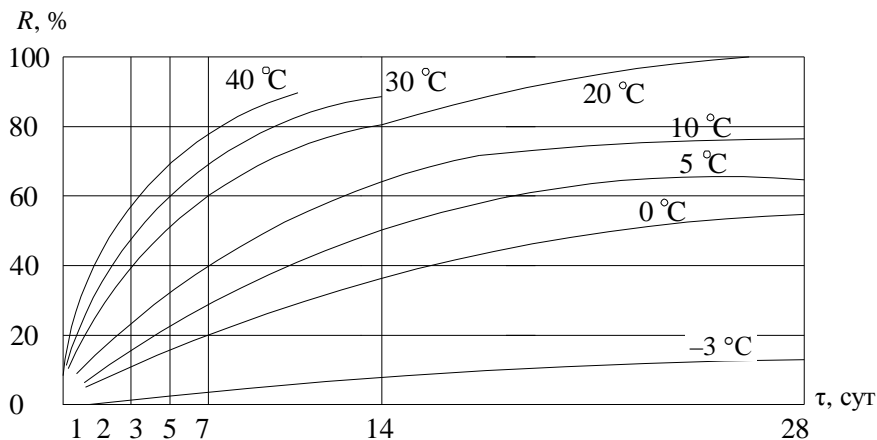


Рис. 16. Нарастание прочности бетона класса В15 на портландцементе М300 (в % от R_{28}) при температурах от -3 до +40 °C

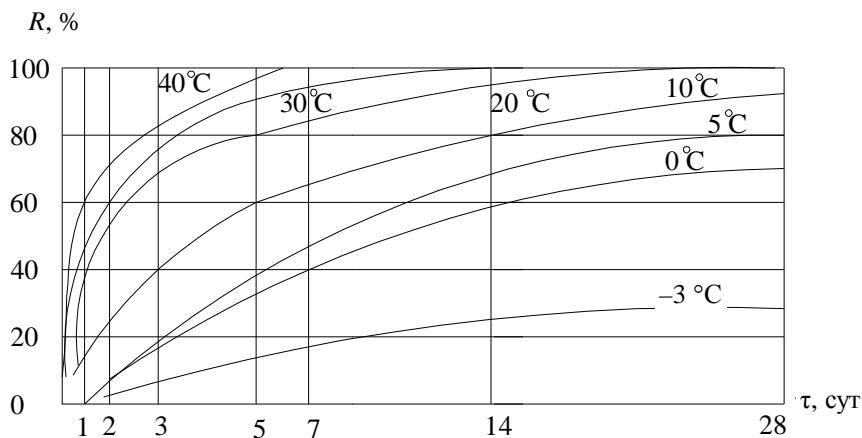


Рис. 17. Нарастание прочности бетона класса В30 на портландцементе М500 (в % от R_{28}) при температуре от -3 до + 40 °C

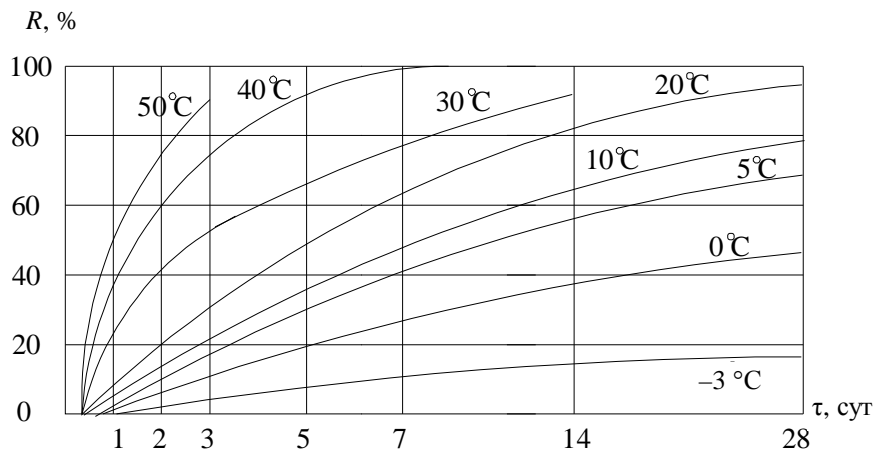


Рис. 18. Нарастание прочности бетона классов В15 – В22,5 на ШПЦ М200 (в % от R_{28}) при температурах от -3 до +50 °C

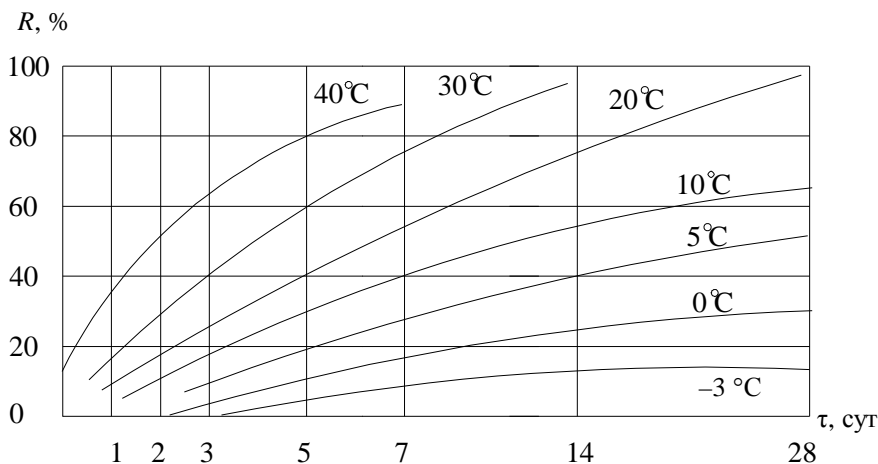


Рис. 19. Нарастание прочности бетона класса В15 на ШПЦ М300 (в % от R_{28}) при температурах от -3 до +40 °C

2. Технология бетонирования с применением метода термоса

Как видно из графиков, интенсивность набора прочности бетона неодинакова и зависит от температуры и процентного содержания C_3A в цементе. Так, в цементах, содержащих $C_3A > 6 \%$, темп нарастания прочности увеличивается на 5–10 %.

Твердение бетона на шлакопортландцементе обычно происходит медленнее при низких температурах ($+5\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +10\text{ }^{\circ}\text{C}$), а при высоких ($> +30^{\circ}$) увеличивается на 10 % по сравнению с бетоном на портландцементе.

Оптимальная температура твердения бетона на глиноземном цементе составляет $\approx 15\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Высокая температура в начале твердения может привести к снижению конечной прочности.

Таблица 46

Нарастание прочности бетона классов В15 и В22,5 на шлакопортландцементе М400, % от R_{28}

Возраст, сут	Температура, $^{\circ}\text{C}$								
	–3	0	5	10	20	30	40	50	60
1/2	–	1	4	5	12	17	28	38	50
1	3	5	9	12	23	35	45	55	63
2	6	12	19	25	40	55	65	75	80
3	8	18	27	37	50	65	77	85	–
5	12	28	38	50	65	78	90	–	–
7	15	35	48	58	75	87	98	–	–
14	20	50	62	72	87	100	–	–	–
28	25	65	77	85	100	–	–	–	–

Интенсивность набора прочности бетона на пуццолановом цементе ориентировочно можно принять, как для бетона на шлакопортландцементе.

Таблица 47

**Наращение прочности бетона класса В35
на портландцементе М600, % от R_{28}**

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °С					
	0	5	10	20	30	40
1	8	13	21	32	45	59
2	17	25	36	52	65	75
3	23	35	46	62	74	83
7	42	57	68	83	90	98
14	58	73	82	94	100	—
28	71	83	92	100	—	—

Таблица 48

**Наращение прочности бетона класса В15
на портландцементе М300, % от R_{28}**

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °С								
	–3	0	5	10	20	30	40	50	60
1/2	—	—	2	5	8	15	20	—	—
1	—	4	6	10	18	27	36	45	52
2	—	8	12	18	30	43	55	65	72
3	5	12	20	25	40	52	65	75	—
5	8	20	30	40	55	65	78	—	—
7	10	30	38	48	64	74	85	—	—
14	12	40	52	64	80	90	100	—	—
28	15	55	68	80	100	—	—	—	—

Таблица 49

**Наращение прочности бетона класса В30
на портландцементе М500, % от R_{28}**

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °C								
	–3	0	5	10	20	30	40	50	60
1	–	8	12	18	28	40	55	65	70
2	–	16	22	32	50	63	75	85	90
3	10	22	32	45	60	74	85	92	98
5	16	32	45	58	74	85	96	–	–
7	19	40	55	66	82	92	100	–	–
14	25	57	70	80	92	100	–	–	–
28	30	70	80	90	100	–	–	–	–

Таблица 50

**Наращение прочности бетона классов В15 и В22,5
на шлакопортландцементе М400, % от R_{28}**

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °C								
	–3	0	5	10	20	30	40	50	60
1/2	–	–	2	4	7	20	25	32	42
1	–	3	6	10	16	30	40	50	65
2	3	8	12	18	30	40	66	75	90
3	5	13	18	25	40	55	70	90	–
5	8	20	27	35	55	65	85	–	–
7	10	25	34	43	65	70	92	–	–
14	12	35	50	60	80	96	100	–	–
28	15	45	65	80	100	–	–	–	–

**Наращение прочности бетона класса В15
на шлакопортландцементе М300, % от R_{28}**

Возраст бетона, сут	Температура бетона, °С								
	–3	0	5	10	20	30	40	50	60
1/2	–	–	–	3	6	12	20	–	–
1	–	–	3	6	12	20	35	45	60
2	–	4	7	12	20	35	50	65	76
3	2	7	12	18	30	46	63	80	–
5	4	13	20	30	45	60	80	–	–
7	6	18	25	40	55	70	92	–	–
14	8	25	40	55	75	90	–	–	–
28	10	35	55	70	100	–	–	–	–

2.6. Определение времени остывания бетона на морозе

На время остывания изделий и конструкций, выдерживаемых методом термоса, оказывают влияние следующие факторы:

- размеры и формы конструкции;
- тепловая изоляция;
- теплофизические свойства бетона и железобетона;
- вид цемента и его экзотермия;
- начальная температура бетона;
- температура наружного воздуха;
- скорость и угол атаки ветра;
- наличие ограждения и оребрения опалубки.

При термосном выдерживании бетона возникает необходимость определить:

1) время остывания бетона и величину набранной прочности в зависимости от факторов окружающей среды;

2) оптимальную величину термического сопротивления изоляции, обеспечивающей формирование благоприятного термонапряженного состояния конструкции;

3) температурные поля в конструкции к моменту распалубки;

4) сроки распалубки;

5) температурные поля по сечению конструкции, влияющие на формирование собственного термонапряженного состояния.

Поставленная задача может быть решена одним из следующих способов прогнозирования температурного режима или длительности остывания бетона:

а) с помощью таблиц для расчета выдерживания бетона и выбора тепловой защиты конструкций различной массивности (прил. 3);

б) расчетом температурного режима бетонных и железобетонных конструктивных элементов по методике В.С. Лукьянова (прил. 4);

в) расчетом термосного выдерживания бетона по способу Б.Г. Скрамтаева (см. гл. 5);

г) по номограммам для определения параметров термосного выдерживания немассивных бетонных и железобетонных конструкций (прил. 5).

При расчете остывания бетона на морозе термическое сопротивление укрытия неопалубленной поверхности берется равным сумме термического сопротивления опалубки и изоляции.

Углы, выступы, закладные детали, ребра и другие элементы изделий и конструкций, остывающие быстрее, чем основная часть, необходимо утеплять дополнительно, создавая этим самым одинаковые условия остывания всей конструкции. Термическое сопротивление теплоизоляции должно быть рассчитано в зависимости от теплового потока или принято условно в два раза выше, чем термическое сопротивление опалубки.

3. ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК

3.1. Сущность бетонирования с применением противоморозных добавок

Одним из методов производства бетонных работ в зимних условиях является применение бетонов с противоморозными добавками, благодаря которым вода при отрицательной температуре (до определенной величины, называемой эвтектической температурой) находится в жидкой фазе и способна взаимодействовать с цементом.

Строительными нормами и правилами в качестве добавок допущены хлористые соли NaCl и CaCl_2 , нитрит натрия NaNO_2 и поташ K_2CO_3 . Применяются также и другие добавки в соответствии со специальными инструкциями для регулирования свойств бетона (ускорения твердения, улучшения удобоукладываемости, повышения морозостойкости и т. д.).

Противоморозные добавки, названные в подразд. 1.3.3, рекомендуется вводить в состав тяжелых и конструктивных бетонов в соответствии с указаниями, приведенными в табл. 52.

Бетон с противоморозными добавками допускается применять в случае, если к моменту охлаждения ниже эвтектической температуры он приобретет критическую прочность, составляющую не менее 30, 25 и 20 % от проектной прочности соответственно при классах В15, В22,5 и В30.

Минимальная прочность, при которой замораживание для бетона не опасно, называется критической. Бетонная смесь с противоморозными добавками укладывается в конструкции при $M_n > 3$, если она удовлетворяет требованиям проекта.

Когда время набора прочности бетона не соответствует графикам производства работ, рекомендуется экономически обосновать возможность применения бетона с противоморозными добавками в сочетании с выдерживанием его по методу термоса или электропрогревом уложенной смеси.

**Область применения бетонов
с противоморозными добавками**

Типы конструкций и условия их эксплуатации	Добавка					
	ХК+ХН	НKM НК+M ННК+M	ХК+НН	ННХК+M ННХК	НН	П
Предварительно напряженные конструкции, стыки сборно-монолитных и сборных конструкций	—	—	—	—	+	—
Предварительно напряженные конструкции, армированные сталью классов Ат-IV, Ат-55, Ат-6, А-IV, А-V	—	—	—	—	—	—
Железобетонные конструкции с обычным армированием диаметром:						
а) более 5 мм	—	+	+	+	+	+
б) 5 мм и менее	—	+	—	—	+	+
Железобетонные конструкции, а также стыки напрягаемой арматуры сборно-монолитных и сборных конструкций, имеющие выпуски арматуры или закладные детали:						
а) без специальной защиты стали	—	+	—	—	+	+
б) с цинковыми покрытиями по стали	—	—	—	—	+	—
в) с алюминиевыми покрытиями по стали	—	—	—	—	—	—
г) с комбинированными покрытиями	—	+	—	—	+	+
Сборно-монолитные конструкции из оконтуривающих блоков с монолитным ядром	—	+	+	+	+	+

Типы конструкций и условия их эксплуатации	Добавка					
	ХК+ХН	НКМ НК+М ННК+М	ХК+НН	ННХК+М ННХК	НН	П
Железобетонные конструкции, предназначенные для эксплуатации:						
а) в неагрессивных газовых средах	—	+	+	+	+	+
б) в агрессивных газовых средах	—	+	—	—	+	+
в) в неагрессивных и агрессивных водных средах	+	+	+	+	+	+
г) в агрессивных водных средах при наличии агрессивного воздействия по показателям содержания сульфатов или солей и едких щелочей при наличии испаряющих поверхностей	—	—	—	—	+	—
д) в зоне переменного уровня воды	—	+	—	—	+	—
е) в водных и газовых средах при относительной влажности более 60 % при наличии в заполнителе включений реакционноспособного кремнезема	—	+	—	+	—	—
ж) в зонах действия блуждающих постоянных токов от посторонних источников	—	+	—	—	+	+
Железобетонные конструкции для электрифицированного транспорта и промышленных предприятий, потребляющих постоянный электрический ток	—	—	—	—	—	—

Примечание. Знак «плюс» означает «допускается», знак «минус» — «не допускается». Показатели агрессивности среды устанавливаются по главе СНиП.

В табл. 53 приведены рекомендуемые виды конструкций, при бетонировании которых целесообразно применять бетоны

3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок

с противоморозными добавками, а также в сочетании с другими способами зимнего бетонирования.

Таблица 53

Рекомендуемый вид конструкций для возведения из бетонов с противоморозными добавками

М _п	Конструкции	t _{н.в.} средняя, °С	Метод выдерживания бетона до набора прочности, % от проектной				
			20–30	50–70		80–100	
				28 сут и менее	более 28 сут	28 сут и менее	более 28 сут
4–8	Фундаменты под здания, колонны и оборудование (колонны сечением 50–70 см, балки высотой 50–70 см, стены и плиты толщиной 25–50 см)	До –25	1	1;2	1;2	2	1;2
		Ниже –25	1;2	2;3	2	2;3	2
8–12	Рамные конструкции, колонны сечением 30–40 см, балки высотой 30–40 см, стены и плиты толщиной 20–25 см, дорожные и другие наземные покрытия толщиной 20–25 см	До –25	1;2	1;2	1;2	2;3	1;2
		Ниже –25	2;3	2;3	2	3	2
12–16	Монолитные участки сборно-монолитных конструкций, стыки сборных конструкций, наземные покрытия толщиной 10–15 см	До –25	1;2;3	2;3	1;2	2;3	1;2
		Ниже –25	2;3	3	2	3	–

М _п	Конструкции	t _{н.в} средняя, °С	Метод выдерживания бетона до набора прочности, % от проектной				
			20–30	50–70		80–100	
				28 сут и ме- нее	более 28 сут	28 сут и ме- нее	более 28 сут
Свыше 16	Стыки сборных кон- струкций	До –25	1;2;3	2; 3	1; 2	3	1; 3
		Ниже –25	3	3	–	3	–

Примечание. Цифрами обозначены следующие методы выдерживания бетона: 1 – без специального утепления; 2 – в сочетании с методом термоса; 3 – в сочетании с электропрогревом (обогревом).

3.2. Набор прочности бетона с противоморозными добавками

Количество и вид противоморозной добавки назначается в зависимости от факторов окружающей среды (температуры наружного воздуха, влажности, скорости движения воздуха), модуля поверхности и условий эксплуатации конструкций, темпов строительства и технико-экономических показателей.

При выборе противоморозной добавки необходимо знать область ее применения и эвтектическую температуру. Так, бетон с противоморозными добавками разрешается применять в том случае, если до приобретения критической прочности температура бетона с добавками (максимально допустимыми) не опускается ниже:

- а) –15 °С при применении НН;
- б) –20 °С при применении ХК+ХН; НК+М, НКМ, ННК+М;
- в) –25 °С при применении П, ХК+НН, ННХК, ННХК+М.

3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок

Интенсивность нарастания прочности бетона с добавками на портландцементе зависит в основном от расчетной (средней) температуры его твердения (табл. 54).

После набора критической прочности бетоны с противоморозными добавками при положительной температуре приобретают прочность 100 % от R_{28} . Бетоны с хлористыми солями могут применяться в том случае, если изделия и конструкции армируются нерасчетной арматурой с защитным слоем не менее 5 см (бетонные тротуары, временные дороги, ленточные фундаменты, фундаменты под оборудование и т. д.). Использование этих бетонов для замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций, имеющих закладные детали, не допускается. Если интенсивность набора прочности не соответствует требованиям проекта производства работ, рекомендуется повысить расчетную (среднюю) температуру твердения за счет утепления конструкции. В табл. 55 приводится рекомендуемое количество противоморозных добавок от массы цемента.

Таблица 54

Нарастание прочности бетона с противоморозными добавками на портландцементях

Добавка	t_b твердения, °C	Прочность при твердении, % от R_{28}			
		Возраст, сут			
		7	14	28	90
Хлористый натрий	–5	35	65	80	100
Хлористый натрий с хлористым кальцием	–10	25	35	45	70
	–15	15	25	35	50
Нитрит натрия, НКМ, НК + М, ННК + М	–5	30	50	70	90
	–10	20	35	55	70
	–15	10	25	35	50
Поташ	–5	50	60	75	100
	–10	30	50	70	90
	–15	25	40	60	80
	–20	20	30	50	75
	–25	15	25	40	65

Добавка	t_b твердения, °С	Прочность при твердении, % от R_{28}			
		Возраст, сут			
		7	14	28	90
Сода + поташ + пластификатор (СПП)	–5	40	50	70	95
	–10	30	40	65	90
	–15	20	30	60	80
	–20	15	20	30	50
ННХК ННХК + М	–5	50	–	85	100
	–10	30	–	60	90
	–15	25	–	55	80
	–20	20	–	45	70
	–25	12	–	30	45
Аммиачная вода	–10	–	25	55	100
	–20	–	20	45	90
	–25	–	15	30	70

Таблица 55

Рекомендуемое количество противоморозных добавок

$t_{н.в}$	Количество безводных солей в процентах от массы цемента					Концентрация NH_4OH (аммиачная вода), %
	$\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$	NaNO_2	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{НКМ}$	$\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{СДБ}$	$\text{ННХК} + \text{М}$	
–5	3 + 0	5	2,5 + 2,5	5	4	–
–10	3,5 + 1,5	7	4,5 + 4,5	7	8	8
–15	3 + 4,5	10	9 + 3	10	10	–
–20	–	–	11,25 + 3,7	12	12	12
–25	–	–	–	15	15	–
–30	–	–	–	–	15	15

Как правило, для бетонов с противоморозными добавками применяется портландцемент с содержанием C_3S более 50 % и C_3A – 7–10 %. Применение шлако- и пуццолановых порт-

3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок

ландцементов нежелательно, а в бетонах с повышенными требованиями по морозостойкости запрещается. Наиболее эффективными являются быстротвердеющие портландцементы и портландцементы М500 и М600.

В случае применения нитрита натрия наиболее целесообразно использовать портландцементы с содержанием C_3A не более 6 %, а с добавками хлористых солей и поташа – не более 9 %.

Бетоны с противоморозными добавками требуют меньшего расхода воды на единицу объема, чем обычные бетоны. Этим можно объяснить повышенную прочность и морозостойкость бетонов с добавками солей по сравнению с марочной прочностью. Соответственно и водоцементное отношение у бетонов с добавками солей меньше, чем у обычного (эталонного), изготовленного из равноконсистентных смесей.

Необходимо строго следить за оптимальным количеством противоморозной добавки, введенной в бетонную смесь, так как это имеет важное значение: недостаточное ее количество может привести к преждевременному замерзанию, а избыточное – к снижению темпа твердения бетона и неоправданному увеличению его стоимости.

Замораживание бетона в раннем возрасте отрицательно сказывается на конечной прочности и, как правило, приводит к необратимым деструктивным процессам. Если же бетон замерзнет после набора критической прочности, то это приведет лишь к временному замедлению или прекращению твердения. Поэтому при назначении количества и вида добавки необходимо исходить из расчетной температуры твердения, которая бы обеспечила набор прочности бетона, не менее критической до замерзания.

3.3. Определение расчетной температуры твердения бетона и толщины утеплителя изделий и конструкций

После экономического и технологического обоснования выбора противоморозной добавки определяется время остыва-

ния бетона τ (сут) до предельно допустимой температуры t_k по формуле

$$\tau = \frac{C_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} (t_{\text{б.н}} - t_{\text{б.к}}) + \alpha \cdot \mathcal{E} \cdot \Pi \cdot R}{86,4 \cdot K_{\text{т}} \cdot M_{\text{п}} (t_{\text{б.сп}} - t_{\text{н.в}})}, \quad (32)$$

где $\gamma_{\text{б}}$ – объемная масса бетонной смеси, принимаемая 2400 кг/м^3 ; $C_{\text{б}}$ – удельная теплоемкость бетона, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ (принимается $1,047 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ для бетона на гранитном заполнителе и $0,963$ – на известняковом); $t_{\text{б.н}}$ – начальная температура бетонной смеси, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{б.к}}$ – конечная (расчетная) температура, до которой определяется время остывания бетона, $^\circ\text{C}$; α – коэффициент интенсивности тепловыделения (принимается по табл. 56); Π – расход цемента на 1 м^3 бетона, кг ; \mathcal{E} – тепловыделение 1 кг цемента за 28 сут твердения при $20 \text{ }^\circ\text{C}$, кДж (табл. 57); $M_{\text{п}}$ – модуль поверхности м^{-1} ; $t_{\text{н.в}}$ – средняя температура воздуха за время τ , $^\circ\text{C}$; $K_{\text{т}}$ – коэффициент теплопередачи опалубки, определяется выражением

$$K_{\text{т}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots \frac{\delta_n}{\lambda_n}},$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности опалубки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $\delta_1, \delta_2, \delta_n$ – толщины слоев опалубки и утеплителя, м ; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$ – коэффициент теплопроводности слоев опалубки и утеплителя, $\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$; $\alpha_{\text{н}}$ и $K_{\text{т}}$ – ориентировочно можно принять по табл. 44 и 45, а $\lambda_1 \dots \lambda_n$ – из табл. 58; R – прочность, набираемая бетоном за время τ , % от марочной (должна быть не менее критической прочности, а при необходимости и более высоких значений прочности); $t_{\text{б.сп}}$ – средняя температура бетона за время τ , определяемая по формуле

$$t_{\text{б.сп}} = \frac{t_{\text{б.н}} - t_{\text{б.к}}}{1,03 + 0,181 \cdot M_{\text{п}} + 0,006(t_{\text{б.н}} - t_{\text{б.к}})} + t_{\text{б.к}}. \quad (33)$$

Время остывания, найденное по расчету, сопоставляется с опытными данными. Сравнивается прочность бетона, приня-

3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок

тая в расчете R , с прочностью бетона, полученной на основании опытных данных.

Таблица 56

Коэффициент интенсивности тепловыделения

$t_{б.н} - t_{б.к}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
α	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019

Таблица 57

Тепловыделение цементов, кДж/кг, различных видов и марок за 28 суток твердения при 20 °С

Портландцемент марки			Шлакопортландцемент марки	
400	500	600	300	400
335	337	419	272	311

Таблица 58

Изменение теплофизических характеристик древесины в процессе тепловой обработки в построечных условиях

Материал	До тепловой обработки			После тепловой обработки		
	γ_1 , кг/м ³	λ		γ_1 , кг/м ³	λ	
		$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вт/ (м·°C)		$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вт/ (м·°C)
Опилки	250	0,105	0,121	400	0,13	0,15
Осина	490	0,135	0,156	850	0,28	0,32
Сосна	480	0,120	0,139	825	0,275	0,319

Последняя R_0 находится по экспериментальному графику при температуре твердения $t_{б.сп}$.

Сравнивая расчетную R и опытную R_0 за время остывания τ , имеем три случая:

1) $R > R_0$ – бетон приобретает прочность раньше, чем остывает до расчетной температуры;

2) $R = R_0$ – бетон приобретает требуемую прочность, а количество добавки следует назначить по принятой в расчете температуре;

3) $R < R_0$ – бетон замерзнет раньше, чем приобретет заданную прочность. В этом случае необходимо утеплять конструкцию, чтобы получить требуемую прочность к моменту замерзания бетона.

С этой целью из формулы времени остывания бетона на морозе определяется значение K_T , которое позволит свести решение задачи ко второму случаю ($R = R_0$).

Задача. Определить время остывания бетона с противоморозной добавкой хлорида кальция в сочетании с хлоридом натрия (ХК+ХН), а также расчетную температуру твердения бетона класса В22,5, приготовленного на щебне (гранитном) и портландцементе М500 с расходом 320 кг/м^3 , если средняя температура воздуха в текущей декаде ожидается -25°C , а скорость ветра – 5 м/с .

В качестве утеплителя принимаем опалубку 4-го типа. Конструкция имеет $M_n = 5 \text{ м}^{-1}$. Температура бетона после укладки равна 12°C .

Решение:

Согласно «Руководству по применению бетонов с противоморозными добавками» критическая прочность для бетонов класса В22,5 составляет 25 %, а $t_{б,к}$ (для принятой добавки) достигает -20°C .

Определяем среднюю температуру за время остывания

$$t_{б,ср} = -20 + \frac{12 + 20}{1,03 + 0,181 \cdot 5 + 0,006 (12 + 20)} = -5^\circ\text{C},$$

тогда

$$\tau^{-20} = \frac{2400 \cdot 1,047 (12 + 20) + 0,0155 \cdot 320 \cdot 25}{86,4 \cdot 0,8 \cdot 5 (-5 + 25)} = 17 \text{ сут.}$$

Сравнивая полученные данные с данными табл. 54, находим, что при средней температуре твердения -5°C для бетонов класса В22,5 с применением добавок (ХК+ХН) для набора критической прочности потребуется всего 5 сут. Мы же получили 17 сут, за это время бетон приобретает прочность порядка 65–70 % от R_{28} . Если нет необходимости в получении прочности большей, чем критическая, то время остывания можно скорректировать за счет принятия другого типа утеплителя (после чего делается повторный расчет).

Если изделия и конструкции имеют $M_{\text{п}} > 16$, расчетная температура принимается равной:

– минимальной температуре наружного воздуха (в том числе и в ночное время) до приобретения бетоном критической прочности, если температура наружного воздуха ожидается ниже среднемесячной;

– среднемесячной температуре наружного воздуха (если за этот период минимальная температура воздуха выше среднемесячной).

В табл. 59 приведены ориентировочные данные по продолжительности выдерживания бетона до набора им критической прочности.

1. Количество противоморозных добавок следует назначать согласно данным табл. 60 с учетом расчетной температуры твердения бетона.

2. Концентрация раствора затворения (с учетом влажности заполнителей) не должна превышать 30 % для П; 26 % – для НКМ, НК+М, ННК+М, ННХК, ННХК+М, ХК+ХН, ХК+НН; 20 % – для НН.

3. При температуре бетона выше -5°C вместо ХН можно применять ХК в количестве до 3 % от массы цемента.

**Продолжительность выдерживания бетона
с противоморозными добавками
до набора критической прочности**

Добавка	$t_{6,ср}, ^\circ\text{C}$	Время выдерживания, сут		
		Класс бетона		
		B15	B22,5	B30
НН	-5	7	6	4
	-10	12	3	7
	-15	19	14	11
ХК+НН	-5	6	5	4
	-10	9	7	5
	-15	19	14	10
	-20	58	45	28
ННХК ННХК+М ХК+НН	-5	5	4	3
	-10	9	7	5
	-15	11	9	7
	-20	14	11	9
	-25	40	28	20
НКМ НК+М ННК+М	-5	7	6	5
	-10	12	9	7
	-15	19	14	10
	-20	28	19	14
П	-5	3	2	1
	-10	7	5	4
	-15	9	7	5
	-25	14	10	7

Таблица 60

Рекомендуемое количество противоморозных добавок

t_6 расчетная, °C		Количество безводных добавок, % от массы цемента						
от	до	НН	ХК+ХН	НКМ НК+М	ННК+М НК+М	ННХК ХК+НН*	ННХК+М	П
0	-5	4-6	(0+3)...(2+3)	3-5	(3+1)...(4+1,5)	3-5	(2+1)...(4+1)	5-6
-6	-10	6-8	(3,5+3,5)...(2,5+4)	6-9	(5+1,5)...(7+2,5)	6-9	(4,5+1,5)...(7+2,5)	6-8
-11	-15	8-10	(4,5+3)...(5+3,5)	7-10	(6+2)...(8+3)	7-10	(6+2)...(8+3)	8-10
-16	-20	-	(6+2,5)...(7+3)	9-12	(7+3)...(9+4)	8-12	(7+2)...(9+4)	10-12
-21	-25	-	-	-	-	10-14	(8+30)...(10+4)	12-15

Примечание. * При соотношении компонентов 1:1 по массе в расчете на сухое вещество. Оптимальное количество добавок при данной температуре твердения бетона при использовании холодных материалов назначается в зависимости от водоцементного отношения, а при применении подогретых материалов – от вида цемента и его минералогического состава.

3.4. Подбор состава и приготовление водных растворов добавок для бетонов

Подбор составов тяжелых бетонов подробно описан в подразд. 1.4.

Обычно состав подбирается одним из трех методов (см. «Руководство по подбору составов тяжелого бетона») без добавки с учетом требуемой марки и подвижности.

Приготавливая бетонную смесь (согласно подобранному составу), вводят противоморозные добавки в количестве, установленном табл. 60, затем определяют подвижность и время ее потери. Если бетонная смесь не удовлетворяет предъявленным требованиям, то производятся повторные испытания с введением в нее добавки замедлителя до получения смеси заданной подвижности.

При назначении состава бетона необходимо также учитывать влажность заполнителей для дальнейшей корректировки расхода воды. Смесь, содержащая добавки СДБ, ПАЩ-1, СНВ, СПД, должна приготавливаться в производственных условиях.

Подвижность, жесткость и объемная масса бетонной смеси определяются в соответствии с требованиями ГОСТ 10181–2000, прочность бетона – по методике ГОСТ 10180–90, испытания на морозостойкость и водонепроницаемость производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 10060.0–95; 10060.1–95; 10060.2–95; 7025–91; 12730.5–84*; 12730.0–78 и др.

Противоморозная добавка в бетонную смесь вводится в виде водного раствора рабочей концентрации, т. е. раствора, которым затворяется бетонная смесь без дополнительного введения в нее воды.

Если противоморозная добавка выпускается промышленностью в жидком виде (концентрированный раствор), то раствор рабочей концентрации приготавливается смешиванием добавки с водой затворения. Соотношение между концентрированным раствором и водой устанавливается по следующей формуле:

$$P = \frac{Q \cdot Ц \cdot C}{100 \cdot В \cdot Д}, \quad (34)$$

где Q – объем приготовленного раствора, л; $Ц$ – расход цемента на 1 м³ бетона, кг; C – дозировка добавки, % от массы цемента; $В$ – расход воды на 1 м³ бетона, л; $Д$ – содержание безводного вещества добавки в 1 л продукта, кг (табл. 61–64).

Таблица 61

**Содержание хлорида натрия в растворах,
их плотность и температура замерзания**

Концентрация, %	Плотность при 20 °С, г/см ³	Температурный коэффициент плотности	Содержание без- водного NaCl, кг		Температура замерзания раствора, °С
			в 1 л	в 1 кг	
1	1,005	0,00022	0,01	0,01	–0,6
3	1,02	0,00026	0,031	0,03	–1,8
5	1,034	0,0003	0,052	0,05	–3,1
7	1,049	0,00033	0,073	0,07	–4,4
9	1,064	0,00036	0,096	0,09	–5,9
11	1,079	0,00038	0,119	0,11	–7,5
13	1,094	0,00041	0,142	0,13	–9,2
15	1,109	0,00043	0,166	0,15	–11
17	1,124	0,00046	0,191	0,17	–13,1
19	1,14	0,00048	0,217	0,19	–15,3
21	1,156	0,0005	0,243	0,21	–17,9
23	1,172	0,00052	0,27	0,23	–21,4

Необходимое количество воды Φ для заправки одной приготовительной емкости определяется по формуле

$$\Phi = Q - P. \quad (35)$$

Таблица 62

**Содержание нитрита натрия в растворах,
их плотность и температура замерзания**

Концентрация, %	Плотность при 20 °С, г/см ³	Температурный коэффициент плотности	Содержание безводного NaNO ₂ , кг		Температура замерзания, °С
			в 1 л	в 1 кг	
2	1,011	0,00023	0,02	0,02	–0,8
6	1,038	0,0003	0,062	0,06	–2,8
10	1,065	0,00036	0,106	0,1	–4,7
14	1,092	0,00042	0,153	0,14	–6,9
16	1,107	0,00044	0,177	0,16	–8,1
18	1,22	0,00047	0,202	0,18	–9,2
20	1,137	0,00051	0,227	0,2	–10,8
22	1,153	0,00055	0,254	0,22	–12,5
24	1,168	0,00058	0,28	0,24	–14,4
26	1,183	0,00061	0,308	0,26	–17
28	1,198	0,00065	0,396	0,28	–19,6
30	1,214	–	0,364	0,3	(–16,5)
34	1,247	–	0,424	0,34	(–11,7)
38	1,282	–	0,488	0,38	(–7,5)
40	1,299	–	0,52	0,4	(–6)

Примечание. В скобках указана температура выкристаллизовывания избытка соли до замерзания раствора при эвтектической температуре, равной –19,6 °С для водных растворов нитрита натрия.

Таблица 63

**Содержание поташа в растворах,
их плотность и температура замерзания**

Концентрация, %	Плотность при 20 °С, г/см ³	Температурный коэффициент плотности	Содержание безводного K ₂ CO ₃ , кг		Температура замерзания, °С
			в 1 л	в 1 кг	
2	1,016	0,00024	0,02	0,02	–0,7
6	1,053	0,0003	0,063	0,06	–2
10	1,09	0,00035	0,109	0,1	–3,6

Концентрация, %	Плотность при 20 °С, г/см ³	Температурный коэффициент плотности	Содержание безводного K ₂ CO ₃ , кг		Температура замерзания, °С
			в 1 л	в 1 кг	
14	1,129	0,00039	0,158	0,14	–5,4
16	1,149	0,00041	0,184	0,16	–6,4
18	1,169	0,00043	0,21	0,18	–7,6
20	1,19	0,00044	0,238	0,2	–8,9
22	1,211	0,00046	0,266	0,22	–10,3
24	1,232	0,00047	0,296	0,24	–12,1
26	1,264	0,00049	0,326	0,26	–14,1
28	1,276	0,0005	0,357	0,28	–16,2
30	1,298	0,00051	0,39	0,3	–18,7
32	1,321	0,00052	0,423	0,32	–21,5
34	1,344	0,00053	0,457	0,34	–24,8
38	1,39	0,00054	0,528	0,38	–32,5
40	1,414	0,00055	0,566	0,4	–36,5

Плотность раствора затворения П найдем следующим образом:

$$П = \frac{P \cdot Y + \Phi}{Q} \quad , \quad (36)$$

где Y – плотность жидкого продукта, г/см³.

Таблица 64

**Содержание хлорида кальция в растворах,
их плотность и температура замерзания**

Концентрация, %	Плотность при 20°С, г/см ³	Температурный коэффициент плотности	Содержание безводного CaCl ₂ , кг		Температура замерзания, °С
			в 1 л	в 1 кг	
2	1,015	0,00023	0,02	0,02	–1
6	1,049	0,00027	0,063	0,06	–3,1

Концентрация, %	Плотность при 20°C, г/см ³	Температурный коэффициент плотности	Содержание безводного СаСl ₂ , кг		Температура замерзания, °С
			в 1 л	в 1 кг	
10	1,084	0,00031	0,108	0 1	–5,7
14	1,12	0,00035	0,157	0,14	–9,5
17	1,148	0,00039	0,195	0,17	–13
19	1,168	0,00041	0,222	0,19	–15,9
21	1,18	0,00043	0,25	0,21	–19,4
23	1,208	0,00045	0,278	0,23	–23,7
25	1,228	0,00047	0,307	0,25	–29
27	1,249	0,00049	0,337	0,27	–36,1
29	1,271	0,00051	0,369	0,29	–45,2
31	1,293	0,00053	0,401	0,31	–55
34	1,326	0,00056	0,451	0,34	(–20)

Примечание. В скобках указана температура выкристаллизовывания избытка соли до замерзания раствора при эвтектической температуре, равной –55 °С для водных растворов хлорида кальция.

Расход раствора рабочей концентрации на 1 м³ бетона *A* определяется по формуле

$$A = \frac{100 \cdot B + Ц \cdot C}{100 \cdot П}. \quad (37)$$

Задача. Необходимо приготовить 1000 л раствора рабочей концентрации для затворения бетона с расходом 380 кг/м³ цемента и 170 л воды. Расчетная температура твердения бетона –15 °С. Для бетонных изделий в качестве противоморозной добавки выбран хлорид кальция в количестве 8 % от массы цемента (ХК имеется в виде 25%-го раствора с плотностью 1,228 г/см³).

Решение:

Используя данные табл. 64, находим:

$$P = \frac{1000 \cdot 380 \cdot 8}{100 \cdot 170 \cdot 0,307} = 582 \text{ л};$$

$$\Phi = 1000 - 582 = 418 \text{ л};$$

$$\Pi = \frac{582 \cdot 1,228 + 418 \cdot 1}{1000} = 1,132 \text{ г/см.}^3$$

Таким образом, для приготовления раствора в бетоносмесителе необходимо смешать 582 л ($582 \cdot 1,228 = 714,6$ кг) хлорида кальция и 418 л ($418 \cdot 1 = 418$ кг) воды. Расход этого раствора на 1 м^3 бетона составит:

$$A = \frac{100 \cdot 170 + 380 \cdot 8}{100 \cdot 1,132} = 176 \text{ л},$$

или

$$176 \cdot 1,132 = 199,2 \text{ кг}.$$

Если добавка поставляется в твердом или пастообразном виде, то раствор противоморозной добавки рабочей концентрации может приготавливаться путем растворения добавки в заданном количестве воды. Для приготовления концентрированного раствора или раствора рабочей концентрации из добавок, поставляемых в твердом виде, необходимо пользоваться данными табл. 61–65.

Таблица 65

**Расход добавок в твердом виде
для приготовления водных растворов**

Требуемая концентрация, %	Содержание безводного продукта, 1 кг на 1 л воды	Требуемая концентрация, %	Содержание безводного продукта, 1 кг на 1 л воды	Требуемая концентрация, %	Содержание безводного продукта, 1 кг на 1 л воды
2	0,02	16	0,19	30	0,429

Требуемая концентрация, %	Содержание безводного продукта, 1 кг на 1 л воды	Требуемая концентрация, %	Содержание безводного продукта, 1 кг на 1 л воды	Требуемая концентрация, %	Содержание безводного продукта, 1 кг на 1 л воды
4	0,042	18	0,22	32	0,47
6	0,064	20	0,25	34	0,515
8	0,087	22	0,282	36	0,563
—	—	24	0,316	38	0,613
12	0,136	26	0,351	40	0,667
14	0,163	28	0,391	42	0,721

Плотность получаемого раствора проверяется ареометром, а требуемая концентрация задается при подборе состава бетона. Рекомендуется готовить концентрированный раствор максимально высокой плотности, исключающей выпадение добавки в осадок.

3.5. Выдерживание бетона и уход за ним

Технология приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси описана в разд. 1.

Производство бетонных работ с противоморозными добавками требует соблюдения следующих правил:

1) после окончания бетонирования поверхность изделия или конструкции, не защищенную опалубкой, необходимо укрыть слоем гидроизоляционного материала во избежание потери влаги или повышенного увлажнения за счет атмосферных осадков;

2) не защищенные опалубкой поверхности следует утеплять изоляционным материалом (жесткими или полужесткими минеральными плитами, минвойлоком, шлаком, снегом, и др.);

3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок

3) термическое сопротивление опалубки и утеплителя должно обеспечивать в бетоне температуру не ниже расчетной до набора прочности не менее критической (см. подразд. 3.2);

4) толщина утеплителя задается из расчета равномерности температурных полей по сечению конструкции в зависимости от различных толщин, углов, выступов и других частей.

Снятие теплоизоляции, распалубливание и загрузка конструкции должны производиться с соблюдением следующих требований:

а) распалубливание несущих железобетонных конструкций следует производить после достижения бетоном прочности, указанной в табл. 54;

б) изделия и конструкции, подвергаемые попеременному оттаиванию и замораживанию, следует распалубливать после достижения 70 % прочности от проектной;

в) предварительно напряженные конструкции следует распалубливать при прочности не менее 80 % от проектной;

г) опалубка, выполняющая роль несущей конструкции, воспринимающей вес бетона, снимается после достижения прочности конструкции не менее 25 % от проектной;

д) массивные конструкции распалубливаются с учетом максимально допустимых перепадов между центром (ядром), наружной поверхностью и температурой окружающей среды;

е) если разность температур поверхностного слоя бетона и наружного воздуха превышает 20 °С для изделий и конструкций с M_n до 5 и 30 °С с $M_n > 5$, распалубленные конструкции должны укрываться на время, необходимое для выравнивания температур;

ж) прежде чем приступить к распалубливанию изделий и конструкций необходимо испытать контрольные образцы и убедиться в достижении бетоном необходимой прочности.

Ведомость контроля температур (форма)

Строительство

Объект

Производитель работ

Лаборант

Год

Начат

Окончен

Конструкция (шифр)	Объем бетона, м ³	Модуль поверхности, м ⁻¹	Метод выдерживания бетона	Дата укладки бетона		№ температурных скважин	Начало выдерживания бетона		Дата замера и температура бетона		Продолжительность выдерживания, ч (сут)	Средняя температура выдерживания, °С	Маркировка контрольных образцов	Условия выдерживания образцов	Прочность образцов, МПа
				Месяц	Число		Месяц, число, ч	Температура бетона, °С	Месяц, число, ч	Температура бетона, °С					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Примечание. Под началом выдерживания бетона (гр. 8 и 9) понимают время включения электрического тока при электропрогреве бетона либо время окончания бетонирования конструкции при применении бетонов с добавками, в том числе и при выдерживании по способу термоса. Условными обозначениями должно быть отмечено время включения электрического тока и распалубливание конструкции.

3.6. Контроль за качеством бетона с противоморозными добавками

Качество исходных материалов должно соответствовать определенным требованиям (см. подразд. 3.4). По истечении гарантийного срока хранения добавок необходимо проверить их соответствие всем показателям действующих ГОСТов и ТУ.

Приготавливая водные растворы, необходимо строго следить за дозировкой воды и добавок, а также их плотностью. Плотность растворов необходимо проверять не реже одного раза в смену.

Состав бетона и его корректировку следует производить в случае замены цемента, инертных материалов и отклонения их влажности (особенно песка).

Приготавливая бетонную смесь с добавками, необходимо систематически проверять правильность ее дозирования, подвижность, жесткость и температуру выхода, а также время перемешивания.

При транспортировании смеси следует принять меры, которые обеспечили бы утепление и обогрев транспортной и приемной тары.

Перед укладкой бетонной смеси в опалубку последняя должна быть очищена от снега, наледи и строительного мусора. Температура смеси измеряется перед укладкой и после нее. Проверяется соответствие расчетного и фактического материалов утепления неопалубленных поверхностей после укладки. Необходимо тщательно следить за температурно-влажностным режимом выдерживания бетона.

Измерение температуры при выдерживании бетона должно производиться не реже 3 раз в сутки, а при электроразогреве необходимо строго следить за скоростью подъема температуры. Количество и место расположения скважин или термопар для измерения температуры должно быть указано в технологической карте на производство бетонных работ.

Для снятия температурных полей в особо ответственных конструкциях применяются термопары, термосопротивления и т. п. Данные о методах и сроках выдерживания бетона и образцов для контроля прочности, а также о тепловом режиме его выдерживания должны заноситься в журнал контроля температур, форма которого приведена в табл. 66.

Контроль качества бетона сводится к определению подвижности и жесткости бетонной смеси, а также соответствию прочности, морозоустойчивости и водонепроницаемости бетона требованиям проекта.

Испытание бетона на прочность должно производиться в соответствии с указаниями ГОСТ 10180–90; 18105–86; 1805–76*; 11052–74. Кроме того, необходимо изготавливать минимум 9 образцов от каждой пробы у места укладки бетонной смеси. Испытания этих образцов производятся в следующие сроки: 3 образца – после установленного срока твердения, 3 – перед загрузкой конструкции нормативной нагрузкой, 3 – после 28-суточного выдерживания в нормальных условиях.

Прочность бетона при электропрогреве осуществляется обеспечением температурного режима, заданного по расчету, так как выдерживание образцов (кубиков) в условиях, аналогичных прогреваемым конструкциям, как правило, неосуществимо, а контроль прочности бетона следует проводить испытанием высверленных кернов. Для испытания бетона на морозостойкость и водонепроницаемость отбираются пробы на бетонных заводах. Образцы в течение первых 3–7 сут выдерживаются при отрицательной температуре (не ниже расчетной), затем 28 сут – в нормальных условиях.

Испытания на морозостойкость и водонепроницаемость производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 10060.0–95; 10060.1–95; 10060.2–95; 7025–91; 12730.5–84*; 12730.0–78. Тонкостенные конструкции толщиной до 15 см испытываются на водонепроницаемость по ГОСТ 12730.5–84*. Прочность инъекционного раствора в предварительно напряженных конструкциях

3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок

контролируется в соответствии с ГОСТ 5802–86. Отчет о бетонных работах должен оформляться по образцу (табл. 67).

Таблица 67

Журнал бетонных работ (форма)

Строительство _____

Объект _____

Объем бетона:

неармированного _____

армированного _____

Производитель работ _____

Лаборант _____

Год _____ Начат _____ Окончен _____

1	Дата бетонирования
2	Наименование бетонир./емой части сооружения и конструктивных элементов (с указанием осей и отметок)
3	Марка бетона
4	Состав бетонной смеси и водоцементное отношение
5	Вид и активность цемента
6	Наименование добавок и их количество
7	Осадка конуса (средняя)
8	Температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя
9	Температура бетонной смеси при укладке
10	Объем бетона, уложенного за смену
11	Способ уплотнения смеси (тип вибратора)
12	Температура воздуха
13	Атмосферные осадки и прочее
14	Маркировка контрольных образцов
15	при распалубливании
16	после наступления положительной температуры и 28-суточного выдерживания в нормальных условиях
17	перед нагружением конструкцией нормативной нагрузкой
18	Дата распалубливания данной части сооружения

Примечание. В гр. 3–6 данные проставляются: при доставке с центрального бетонного завода – по паспорту с указанием его номера, при изготовлении на локальном узле (по данным лаборатории); данные измерений температуры бетона при выдерживании заносятся в специальную ведомость контроля температур (см. табл. 66).

3.7. Техника безопасности при производстве бетонных работ с противоморозными добавками

При производстве бетонных работ необходимо руководствоваться требованиями СНиП 12-03–2001 «Безопасность труда в строительстве (Часть 1. Общие положения)», СНиП 12-04–2002 (Часть 2), а также указаниями данного подраздела.

Складские помещения для хранения добавок должны отвечать нормам проектирования в отношении пожарной, взрывной и санитарной безопасности. Расстояние между действующими зданиями и складскими помещениями устанавливается с учетом степени огнестойкости здания и категории производства (см. СНиП II-89–80* «Генеральные планы промышленных предприятий»).

Нитрит натрия (в кристаллическом виде) способен поддерживать огонь и вызывать воспламенение горючих веществ (в некоторых случаях даже при трении или механическом ударе), он загорается при взаимодействии с деревом, хлопком, соломой и т. п. Хранение НН с другими солями и органическими материалами воспрещается.

Склады твердого НН относятся к категории В. Расстояние между зданиями из несгораемых материалов и складами должно быть не менее 15 м. Склады необходимо оборудовать противопожарными средствами и водопроводом, электрическое хозяйство должно быть смонтировано согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ). На складах запрещается курить.

Нитрит натрия в жидком виде непожароопасен, однако сгораемые материалы, пропитанные им, легко воспламеняются и трудно поддаются тушению.

Мочевина и НКМ являются пожароопасными продуктами и должны храниться в отдельных складах с несгораемыми стенами не ниже первой степени огнестойкости. Склады должны быть оборудованы средствами пожаротушения.

3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок

Синтетическая поверхностно-активная добавка относится к числу горючих продуктов, имеет температуру вспышки паров 140 °С, воспламенения – 167 °С, самовоспламенения – 305 °С. Горящие продукты рекомендуется тушить химической или воздушно-механической пеной, а небольшие очаги горения – пенными огнетушителями.

Добавки П, ХК, ХН, ННК, ННХК, СДБ, ПАЩ-1, СНВ, ПГЭН являются неопасными в пожарном отношении. Однако в складских помещениях запрещается курить и применять открытый огонь. Необходимо остерегаться попадания добавок в пищу и на кожу (особенно НН, ННК и ННХК).

В помещениях, где рабочие заняты приготовлением растворов, добавок НН, ННК, ННХК, СПД, ПАЩ-1, П, НК и НКМ, должна быть устроена приточно-вытяжная вентиляция, которая обеспечивала бы 10–15-кратный воздухообмен. Не реже одного раза в месяц следует производить анализ воздушной среды на предмет содержания в воздухе токсичных соединений, опасных для здоровья людей.

К работе с добавками допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и имеющие допуск на право производства работ.

Рабочие, занятые приготовлением растворов добавок, должны обеспечиваться соответствующей спецодеждой (водоотталкивающими комбинезонами, очками, перчатками, утепленными сапогами), а работающие с НН, П, ПГЭН – респираторами. При работе с СПД необходимо иметь противогазы марки А.

Для рабочих, имеющих дело с НН, ННК и ННХК, необходимо правильно оборудовать бытовые помещения (см. СНиП 2.09.04–87*).

Из всех противоморозных добавок самой опасной является нитрит натрия. Он ядовит, для предотвращения случаев отравления необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

а) склады размещать в отдельно стоящих помещениях, вход в эти помещения посторонним лицам должен быть запрещен;

б) емкости с водным раствором НН должны иметь надпись «Яд»;

в) раствор должен приготавливаться только в заводских условиях;

г) процесс приготовления раствора необходимо максимально механизировать;

д) выдавать раствор по трубопроводам в закрытые емкости;

е) обслуживать установки по приготовлению раствора должны лица, имеющие специальный допуск;

ж) категорически запрещается сливать раствор в водоемы и канализацию.

Соединение водного раствора НН с кислотами, а также с солями, имеющими кислую реакцию, может привести к образованию газообразных продуктов, в том числе отравляющих газов. Предельно допустимая концентрация их должна быть не более 5 мг/м^3 . Опасные газы появляются, если нарушается технология получения водных растворов добавок.

Необходимо осторожно относиться также к добавкам ННК, ННХК. При этом следует помнить, что ННХК вызывает катар дыхательных путей и воспаление слизистой оболочки носа.

Синтетическая поверхностно-активная добавка является умеренно опасным веществом и по степени воздействия на организм человека относится к 3-му классу. Предельно допустимая концентрация паров должна быть не более 10 мг/м^3 .

Адипинат натрия (ПАЩ-1) (натриевая соль адипиновой кислоты) относится к умеренно токсичным веществам, опасен при контакте с кожей. Предельно допустимая концентрация в воздухе производственных помещений не должна превышать: циклогексана – 80 мг/м^3 ; циклогексаона – 10 мг/м^3 и циклогексанола – 10 мг/м^3 .

3. Технология бетонирования с применением противоморозных добавок

Калий углекислый технический K_2CO_3 (поташ) является солью с сильно выраженными щелочными свойствами, опасен при попадании раствора в глаза и на кожу.

Нитрит кальция, нитрат кальция с мочевиной, нитрит-нитрата кальция, нитрит-нитрат хлорида кальция вызывают раздражение кожного покрова, особенно при наличии царапин, ран и т. п.

Хлорид кальция, хлорид натрия, мочеви́на, смола нейтральная воздухововлекающая, сульфитно-дрожжевая бражка, жидкое стекло, тетраборат натрия, кремнийорганическая жидкость не обладают токсичными свойствами.

Бетонные смеси с добавками обладают повышенной электропроводностью, поэтому нужно обращать особое внимание на качество электропроводки и исправность электроинструментов.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОГРЕВА

4.1. Общие положения

Сущность методов искусственного прогрева заключается в подъеме температуры уложенного бетона до максимально допустимой и поддержании ее в течение времени, за которое бетон набирает критическую или заданную прочность. Искусственный прогрев объединяет группу методов, основанных на использовании тепла, получаемого от превращения электрической энергии в тепловую. Подъем температуры можно произвести при пропускании электрического тока через бетон или при помощи нагревательных устройств, от которых тепло подводится к бетону радиационно, кондуктивно или конвективно. Разнообразие методов искусственного прогрева позволяет в каждом конкретном случае (в зависимости от $M_{п}$, конфигурации, характера армирования, назначения конструкции и т. д.) выбирать наиболее эффективный. Методы искусственного прогрева бетонных и железобетонных конструкций (табл. 68) можно классифицировать следующим образом: 1) электродный прогрев; 2) обогрев различными электронагревательными устройствами; 3) нагрев в электромагнитном поле; 4) конвективный метод нагрева бетона; 5) электроразогрев бетонной смеси перед укладкой.

Искусственный прогрев обеспечивает получение бетонов с заданными физико-механическими свойствами, существенно не отличающимися от свойств бетонов, твердеющих в нормальных условиях. Одновременно он требует от инженерно-технических работников знаний электрофизических и теплофизических процессов, протекающих в бетоне, и высокой культуры обслуживания.

Только в этом случае искусственный прогрев может быть эффективным и экономичен по сравнению с другими методами.

**Методы искусственного прогрева
и рациональная область их применения**

Метод	Краткая характеристика и область применения	Ориентировочный расход электроэнергии, пара, воды, (кВт·ч)/м ³	Примечания
1. Электропрогрев электродный: а) сквозной	Используется тепло, выделяющееся в свежемолотом бетоне при пропуске через него переменного электрического тока. Применение наиболее эффективно для ленточных фундаментов, колонн, стен и перегородок толщиной до 50 см	80–120	Режимы прогрева мягкие. Скорость подъема температуры не более 20 °С/ч. В качестве электродов применяются стержни и струны диаметром не менее 6 мм, полосовая сталь шириной не менее 15 мм
б) периферийный	Применяется для прогрева периферийных зон бетона массивных и средней массивности изделий и конструкций, одно- и двустороннего прогрева тонкостенных конструкций (бетонные подготовки и полы, плоские перекрытия, стены и перегородки, ленточные фундаменты и т. д.)	80–120	Температура в периферийных слоях массивных конструкций должна поддерживаться на уровне температуры в ядре сечения или на 5–10 °С ниже. Скорость подъема температуры – не выше 10 °С/ч. В качестве электродов применяются стержни, полосы, ленты и т. д.
в) с использованием в качестве электродов арматуры	Прогрев изделий и конструкций, армированных отдельными, не связанными между собой стержнями, плоскими каркасами и пр.	80–120	Режимы прогрева мягкие, скорость подъема температуры не выше 10 °С/ч

Метод	Краткая характеристика и область применения	Ориентировочный расход электроэнергии, пара, воды, (кВт·ч)/м ³	Примечания
2. Индукционный нагрев бетона	Используется тепло, выделяемое в арматуре или стальной опалубке, находящихся в электромагнитном поле катушки-индуктора, по которой протекает переменный электрический ток. Применяется при прогреве колонн, ригелей, балок, прогонов, свай, перемычек, замоноличивании стыковых каркасных конструкций и т. д.	120–150	Режимы прогрева мягкие, скорость подъема температуры – не выше 20 °С/ч. Нагрев бетона происходит от арматуры и опалубки, находящейся в электромагнитном поле. Температура на контакте арматуры или формы с бетоном не должна превышать 80 °С
3. Электрообогрев: а) с помощью высокотемпературных нагревателей инфракрасного излучения	Используется способность инфракрасных лучей поглощаться телом и трансформироваться в тепловую энергию, что повышает теплосодержание этого тела. Применяется при возведении монолитных конструкций различной конфигурации, а также при сушке термоизоляции и штукатурки	120–200	Температура обогреваемой поверхности не должна превышать 80–90 °С. В качестве нагревателей используются лампы, трубчатые, спиральные и проводочные нагреватели с температурой на поверхности нагревателя выше 250 °С

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

Продолжение табл. 68

Метод	Краткая характеристика и область применения	Ориентировочный расход электроэнергии, пара, воды, (кВт·ч)/м ³	Примечания
б) с помощью низкотемпературных электронагревателей	Обогрев изделий и конструкций осуществляется с помощью вмонтированных жестких электронагревателей в опалубку или гибких – в греющие маты и одеяла. Применяется для всех видов изделий и конструкций	100–160	Режим прогрева мягкий. В качестве нагревателей используются трубчатые, плоские, струнные нагреватели или нихромовая проволока. Эти нагреватели имеют температуру на поверхности ниже 250 °С
в) обогрев в камерах с излучающими поверхностями	Тепловая обработка изделий и конструкций в камерах, оборудованных индукторами. Применяется при изготовлении плит перекрытия и покрытия, а также мелкого железобетона	100–180	В камере подвод тепла к изделиям и конструкциям осуществляется со всех сторон
г) с помощью греющего провода	Обогрев бетона осуществляется по периферийным зонам конструкции путем подачи тепла непосредственно на бетон или опалубку. Применяется при возведении монолитных конструкций различной конфигурации и армированных по любой схеме, а также при сушке теплоизоляционного бетона и штукатурки	80–110	Обогрев осуществлять с обязательной защитой неопалубленных поверхностей от потерь влаги. Температура на обогреваемой поверхности не должна превышать 80–90 °С. В качестве нагревателей используются лампы, трубчатые, спиральные, проволочные и другие нагреватели – с температурой на поверхности нагревателя выше 300 °С

Метод	Краткая характеристика и область применения	Ориентировочный расход электроэнергии, пара, воды, (кВт·ч)/м ³	Примечания
4. Электроразогрев: а) предварительный электроразогрев бетонной смеси	Бетонная смесь разогревается током промышленной частоты напряжением 380 В в специальных устройствах вне формы (посты электроразогрева бетонной смеси), укладывается и уплотняется в горячем виде. Бетонируются конструкции с $M_{п} = 12 \text{ м}^{-1}$	50–90	Для конструкций с $M_{п} = 6 \text{ м}^{-1}$ прочность бетона достигается путем термосного выдерживания, а при $M_{п} = 12 \text{ м}^{-1}$ необходим дополнительный прогрев или обогрев
б) электроразогрев бетона в форме с повторным уплотнением	Бетонная смесь в холодном состоянии укладывается и уплотняется в форме, а затем быстро разогревается и повторно уплотняется	50–70	То же
в) электроразогрев смеси в процессе виброформования	При изготовлении тонкостенных изделий и линейных элементов с одиночной арматурой	50–60	Отформованные изделия необходимо сразу поместить в среду с повышенной температурой
5. Конвективный метод нагрева бетона	При изготовлении изделий и конструкций в заводских и построечных условиях, где в целях ускорения твердения бетона применяется тепловлажностная обработка изделий при температуре до 100 °С. В качестве теплоносителя применяется насыщенный водяной пар или паровоздушная смесь	—	Тепловая обработка может осуществляться в пропарочных камерах периодического и непрерывного действия под переносными колпаками, на стендах, в термоформах, термопакетах, кассетах и т. п.

Производство работ с искусственным прогревом бетона должно вестись в соответствии с разработанным проектом, в котором содержатся: указания по выбору электрооборудования, схемы установки электродов (стержневых, полосовых, пластинчатых, струнных, нашивных и т. д.), указания по установке электронагревательных элементов (инфракрасных и низкотемпературных), схемы подводки электропитания с подключением электродов или электронагревателей.

4.2. Электродный метод прогрева бетона

4.2.1. Общие положения

Среди методов искусственного прогрева, применяемых в технологии зимнего бетонирования, ведущее место принадлежит электропрогреву. Прогрев бетона электрическим током, как уже было отмечено, основан на принципе преобразования электрической энергии в тепловую.

Достигается это включением бетона в качестве сопротивления в цепь переменного тока промышленной частоты с помощью металлических (стержневых, полосовых, струнных, пластинчатых) электродов, при этом происходит непосредственный прогрев бетона, а не окружающей среды.

Использование электрического тока для прогрева бетона основано на законе Джоуля – Ленца

$$Q = 3600 \cdot I^2 \cdot R \cdot T, \quad (38)$$

где Q – количество теплоты, выделяемой при прохождении тока, кДж; I – сила тока, А; R – сопротивление прогреваемого бетона, Ом; T – время прохождения тока, ч.

Как известно из курса физики, 1 кВт·ч электроэнергии эквивалентен 3617,57 кДж тепла. Сопротивление прогреваемого бетона зависит от удельного сопротивления бетонной смеси и способа подвода напряжения, геометрических разме-

ров и конфигурации прогреваемого элемента и электродов, схемы их расстановки и соединения.

В простейшем случае

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (39)$$

где ρ – удельное сопротивление бетона, Ом/см; l и S – соответственно длина и площадь поперечного сечения бетонного элемента.

Входящие в состав бетона вяжущие и заполнители в сухом состоянии обладают высоким сопротивлением. Вода выступает той составляющей, присутствие которой в бетоне резко понижает его сопротивление. Поэтому свежесуложенный бетон является хорошим проводником, и электрический ток, проходя через него, быстро разогревает смесь.

Удельное сопротивление бетона резко меняется в зависимости от количества и качества жидкой фазы. Если проследить за этими изменениями, то можно четко различить три основных стадии:

а) понижение удельного сопротивления с некоторого начального до какого-то определенного минимального значения ρ_{\min} ;

б) постепенная стабилизация удельного сопротивления;

в) прогрессирующее возрастание электросопротивления.

Этим трем стадиям изменения ρ соответствуют следующие стадии формирования бетона:

1) растворение в воде минералов клинкера цемента и насыщение жидкой фазы продуктами гидратации и гидролиза окислов калия и натрия;

2) пересыщение жидкой фазы, коллоидация и начало кристаллизации новообразований;

3) формирование кристаллического скелета новообразования, уплотнение структуры цементного камня и нарастание механической прочности бетона.

На величину и кинетику удельного сопротивления в основном влияют следующие факторы:

1. Количественное содержание водорастворимых едких щелочей и окиси кальция. Чем выше их содержание в цементе, тем ниже начальное и минимальное сопротивления бетона.

2. Удельное сопротивление уменьшается до определенного предела (≈ 250 кг цемента на 100 л воды) за счет увеличения концентрации солей в жидкой фазе. Дальнейшее же повышение содержания цемента в воде приводит к увеличению ρ .

3. С увеличением объема жидкой фазы в бетоне удельное сопротивление падает, однако при дальнейшем увеличении количества воды резко сокращается концентрация солей в жидкой фазе, а сопротивление начинает возрастать.

4. Добавка электролитов в бетон приводит к снижению величины удельного сопротивления, а также дальнейшей ее стабильности в процессе твердения.

5. При низких положительных температурах в первые часы твердения бетона возрастает количество клинкерных минералов и, следовательно, ускоряется рост ионов. В этот период также снижается величина удельного сопротивления бетона.

6. Охлаждение бетона до 0°C приводит к увеличению удельного сопротивления, а при полном его замерзании составляет $0,03 \cdot 10^5$ Ом/см.

7. С увеличением температуры выдерживания бетона удельное сопротивление изменяется в широком диапазоне (от 300 до 3000 Ом/см). Так, в начале выдерживания ρ имеет минимальное значение, а по мере кристаллизации новообразований резко растет.

8. Обезвоживание бетона в процессе тепловой обработки также приводит к увеличению ρ .

Таким образом, при электропрогреве бетона желательно применять высокоалитовые портландцементы. Токопроводящих свойств бетона можно достичь за счет применения добавок-электролитов и предварительного выдерживания смеси.

Термообработку следует начинать при положительной температуре бетона и до начала его схватывания. Режим электропрогрева необходимо вести с учетом изменения ρ в процессе термообработки бетона.

4.2.2. Режимы электропрогрева бетонных конструкций

Электропрогрев, как и другие методы термообработки, направлен на обеспечение условий, необходимых для набора прочности бетона.

При возведении массивных конструкций и дальнейшем наборе ими прочности могут протекать следующие процессы:

1) центральные (ядро) и поверхностные (периферийные) слои конструкции за время остывания до нулевой температуры приобретают требуемую по проекту прочность, перепады температур по сечению невелики;

2) конструкция приобретает требуемую по проекту прочность, но перепады температур по сечению превышают $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$;

3) бетон ядра конструкции успевает приобрести требуемую прочность, а периферийные слои замерзают раньше;

4) вся конструкция остывает, не получив необходимой прочности.

В первом случае не требуется дополнительного теплового воздействия, а можно обойтись термосным выдерживанием конструкции. Во всех же остальных ситуациях необходимо либо дополнительное утепление опалубки, либо применение термообработки бетона. Для этого чаще всего используют периферийный электропрогрев, позволяющий создать тепловой контур для ядра конструкции, твердеющего в термосных условиях.

Электроды, установленные периферийно, поддерживают положительную температуру в наружных слоях за счет джоулева тепла, а в ядре конструкции – за счет экзотермии и теплопередачи с периферийных слоев. Одновременно периферийный

электропрогрев обеспечивает компенсацию теплопотерь в окружающую среду, нагревает периферийные слои конструкции до температуры, позволяющей создать благоприятные условия твердения бетона, и регулирует температурные поля в теле конструкции с целью достижения его равномерности.

Электротермообработка конструкций средней массивности обеспечивает равномерный прогрев изделия по сечению с одновременным набором прочности в минимальные сроки.

В настоящее время ученые и производственники разработали и предложили целый ряд режимов электротермообработки бетона. На выбор режимов влияют многочисленные факторы: массивность конструкции, температура окружающей среды, материал опалубки, наличие утеплителя, вид и марка цемента, требования к конечной прочности бетона и т. д.

В зависимости от этого электропрогрев можно вести по следующим стандартным схемам:

1. Электротермос (рис. 20, *а*) состоит из периода разогрева в течение τ часов от $t_{б.н}$ до t_{max} и остывания в течение $\tau_{ост}$ часов. Прочность бетон набирает при остывании конструкции до температуры $t_{б.к}$. Применяется этот режим для конструкций с $M_n \leq 8 \text{ м}^{-1}$.

2. Изотермический режим (рис. 20, *б*) состоит из периода разогрева конструкции от $t_{б.н}$ до t_{max} и изотермического прогрева при этой температуре, продолжительность которого назначается из условия получения требуемой прочности. Этот режим в основном применяется для немассивных конструкций с $M_n \geq 15 \text{ м}^{-1}$.

3. Изотермический режим с остыванием (рис. 20, *в*) содержит в себе комбинацию двух предыдущих режимов, применяется в основном для тепловой обработки конструкций с M_n от 8 до 15 м^{-1} .

4. Ступенчатый режим (рис. 20, *г*) применяется для тепловой обработки массивных ($M_n \leq 5 \text{ м}^{-1}$), а также средней массивности преднапряженных конструкций.

Подъем температуры является одним из наиболее ответственных моментов электропрогрева. Применяя вышеперечис-

ленные режимы электротермообработки, технологи должны уделять особое внимание скорости подъема температуры. Так, установлено, что при скорости подъема температуры, приближающейся к 60–80 °С/ч, могут иметь место структурные нарушения в виде горизонтальных трещин конструкции. Нередки случаи, когда на поверхности конструкций образуются «горбушки» (вспучивание верхних слоев бетона). Внутренние и внешние деформации в изделиях и конструкциях объясняются наличием внутрипорового давления как результата быстрого расширения заземленного воздуха и паров воды.

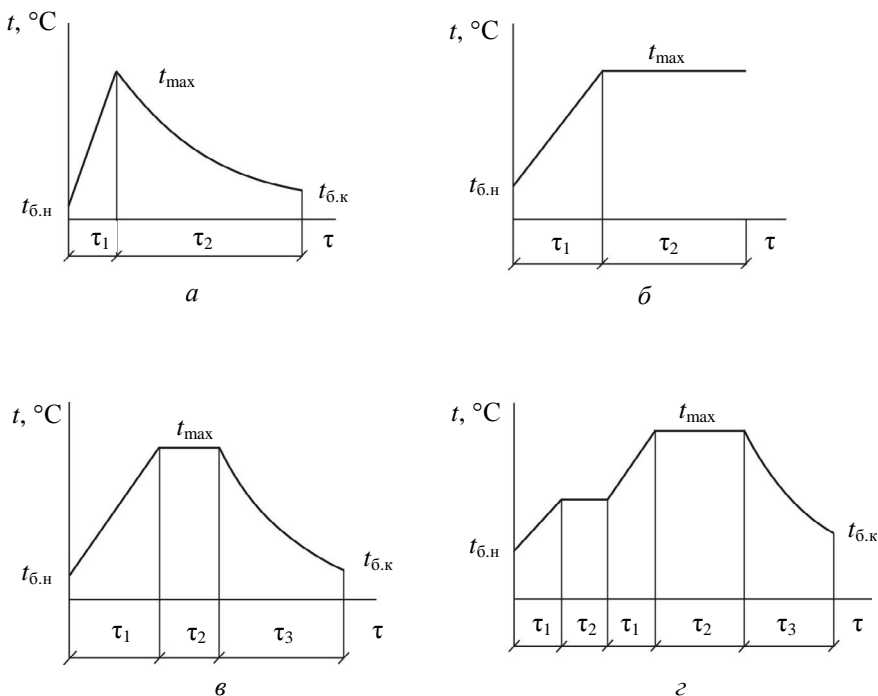


Рис. 20. Температурные режимы электротермообработки бетонов:
a – электротермос; *б* – изотермический режим; *в* – изотермический режим с остыванием; *г* – ступенчатый режим; τ_1 , τ_2 , τ_3 – соответственно подъем температуры, изотермический прогрев и остывание

При высоких температурах происходит также расширение твердых частиц и интенсивное испарение влаги, особенно с верхних слоев. Скорость разогрева бетонной смеси не должна превышать 20 °С/ч. На скорость подъема температуры также оказывает большое влияние массивность конструкций. При быстром разогреве массивных конструкций в теле бетона возникают значительные температурные перепады, которые впоследствии усугубляются вследствие химической реакции экзотермии. За счет миграции влаги, расширения воздуха, испарения воды в порах твердеющего бетона появляется избыточное давление. Так, под действием температурного градиента порядка 3–5 °С/см давление в порах колеблется от 500 до 800 мм водяного столба. Поэтому в ранней стадии структурообразования зачастую выявляются деструктивные процессы, которые приводят к ухудшению свойств бетона (микронарушениям структуры цементного камня, увеличению водонепроницаемости и снижению морозостойкости бетона).

Небольшие скорости разогрева благоприятно сказываются на структурообразовании и конечной прочности бетона. Нормативными документами Минрегионразвития РФ предусматриваются следующие максимально допустимые скорости подъема температуры бетона при электропрогреве: $M_n = 2\text{--}6 \text{ м}^{-1} - (5\text{--}8) \text{ °С/ч}$; $M_n = 6\text{--}20 \text{ м}^{-1} - \text{не более } 10 \text{ °С/ч}$; тонкостенные конструкции рекомендуется разогревать со скоростью не более 15 °С/ч.

Аналогичные причины сказываются на свойствах бетона и при максимальных скоростях остывания. Имеющие место температурные градиенты также создают в конструкции дополнительные напряжения, которые и вызывают образование необратимых макродефектов.

Таким образом, скорость остывания конструкций должна составлять: с $M_n \geq 10 \text{ м}^{-1} - \text{не более } 12 \text{ °С/ч}$; с M_n от 6 до $10 \text{ м}^{-1} - \text{не более } 5 \text{ °С/ч}$; с $M_n < 6 \text{ м}^{-1} - \text{не более } 2\text{--}3 \text{ °С/ч}$; конструкции с большим процентом армирования и $M_n > 10 \text{ м}^{-1} - \text{не более } 15 \text{ °С/ч}$.

Снятие опалубки с изделий и конструкций рекомендуется производить при температуре наружного слоя не более 5 °С, причем разность между температурой поверхности и наружным воздухом не должна превышать: с $M_n \leq 5 \text{ м}^{-1}$ – 20 °С; с $M_n > 5 \text{ м}^{-1}$ – 30 °С; для неармированных конструкций – 40 °С.

Максимальная температура при электротермообработке также регламентируется рядом факторов.

Во-первых, установлено, что конечная прочность бетона, подвергнутая электротермообработке, оказывается ниже прочности образцов нормального твердения. Это объясняется не-полнотой гидратации цементных зерен.

Во-вторых, высокие температуры вызывают собственное температурное расширение.

В-третьих, резко возрастают массопотери, что может привести к обезвоживанию бетона и к образованию открытых капилляров и пор.

В табл. 69 приведены максимально допустимые температуры электропрогрева бетона.

Таблица 69

**Максимально допустимые температуры
при электропрогреве бетона**

Вид цемента	Марка цемента	Максимально допустимая температура прогрева, °С		
		$M_n, \text{м}^{-1}$		
		6–10	10–15	16–20
Шлакопортландцемент	300–500	90	75	60
Портландцемент	400–700	80	70	60
БТЦ	600–800	70	65	50

Предварительно напряженные конструкции рекомендуется прогревать при температуре не более 80 °С, т. к. при высоких температурах имеют место потери напряжения в арматуре, что сказывается на несущей способности конструкций.

4.2.3. Проектирование электропрогрева бетона

Для получения более высоких экономических, технологических и прочностных показателей при производстве бетонных работ с электродным прогревом необходимо произвести расчеты оптимального теплового режима, определить потребную мощность, электрические параметры, а также обосновать технологичность ведения работ.

4.2.3.1. Методика проектирования теплового режима электропрогрева

Для проектирования теплового режима электропрогрева необходимо знать:

- 1) вид и марку цемента;
- 2) содержание цемента в бетоне (кг/м^3);
- 3) модуль поверхности конструкции $M_{\text{п}}$;
- 4) определяющий размер l при периферийном электропрогреве (в качестве определяющего размера принимается размер в направлении, перпендикулярном плоскости установки электродов, равный при прогреве массивных конструкций и двустороннем периферийном электропрогреве немассивных половине толщины конструкций, а при одностороннем прогреве немассивных конструкций – полной толщине);
- 5) требуемую прочность бетона к моменту окончания термообработки;
- 6) материал опалубки и ее толщину $\delta_{\text{оп}}$;
- 7) начальную температуру бетона $t_{\text{б.н}}$;
- 8) температуру наружного воздуха $t_{\text{н.в}}$;
- 9) скорость и направление ветра.

Методика проектирования теплового режима массивных и немассивных конструкций различна.

Немассивные конструкции. Проектирование теплового режима немассивных конструкций ведется в следующем порядке.

Зная M_{Π} конструкции и вид цемента, задают допустимую скорость подъема температуры и максимальную температуру (см. табл. 69).

По этим величинам определяют время разогрева бетона

$$\tau_p = \frac{t_{\max} - t_{\text{б.н.}}}{V_p}. \quad (40)$$

Затем находят время остывания конструкции $\tau_{\text{ост}}$ от t_{\max} до $t_{\text{б.к}}$ (обычно $t_{\text{б.к}} = 0 \dots +5 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

$$\tau_{\text{ост}} = \frac{600 \cdot t_{\max} + \Pi \cdot Q_{\text{э.ост}}}{3,6 \cdot K_T \cdot M_{\Pi} (t_{\text{ост}}^{\text{cp}} - t_{\text{н.в}})}, \quad (41)$$

где K_T – коэффициент теплопередачи ограждения; $t_{\text{ост}}^{\text{cp}}$ – средняя температура остывания бетона; $Q_{\text{э.ост}}$ – количество тепла, выделяющееся за счет экзотермии цемента в бетоне, твердеющем в течение $\tau_{\text{ост}}$ при температуре $t_{\text{ост}}^{\text{cp}}$.

Величина $Q_{\text{э.ост}}$ определяется по формуле

$$Q_{\text{э.ост}} = (Q_{\max} - Q_{\text{э.п}}) [1 - (\beta \cdot \tau_{\text{ост}} + 1) \exp^{-\beta \cdot \tau_{\text{ост}}}], \quad (42)$$

где

$$Q_{\text{э.п}} = Q_{\max} [1 - (\beta \tau_p + 1) \exp^{-\beta \tau_p}].$$

Величины Q_{\max} и β для различных цементов и температур выдерживания приведены в табл. 70.

Таблица 70

Термохимические характеристики цемента

Вид	Марка	Q_{max} , ккал/кг				β , $10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$			
		Температура, $^{\circ}\text{C}$							
		20	40	60	80	20	40	60	80
БТЦ	600	110	100	90	80	6	11,5	18	23
Портландцемент	500	95	90	85	80	5	10,5	15	21
- //-	400	80	75	70	65	4	10,2	14,5	20
- //-	300	70	65	63	59	4	10	13,8	19,5
- //-	200	60	58	54	50	2,5	9	13,0	19,0
ШПЦ	300	60	58	54	50	2,0	8,0	13,0	18,5
- //-	200	60	58	53	48	1,5	6,0	12,0	18,0

В зависимости от вида цемента по рис. 21 находится прочность бетона, полученная за время $\tau_p + \tau_{\text{ост}}$ при средних температурах t_p^{cp} и $t_{\text{ост}}^{\text{cp}}$:

$$t_p^{\text{cp}} = \frac{t_{\text{б.н}} + t_{\text{max}}}{2}. \quad (43)$$

Если прочность соответствует требуемой к концу термообработки, то задается электротермосный режим. Если же прочность ниже требуемой, то производят тепловую обработку бетона изотермическим режимом или изотермическим режимом с остыванием, учитывая набор прочности в период разогрева и остывания.

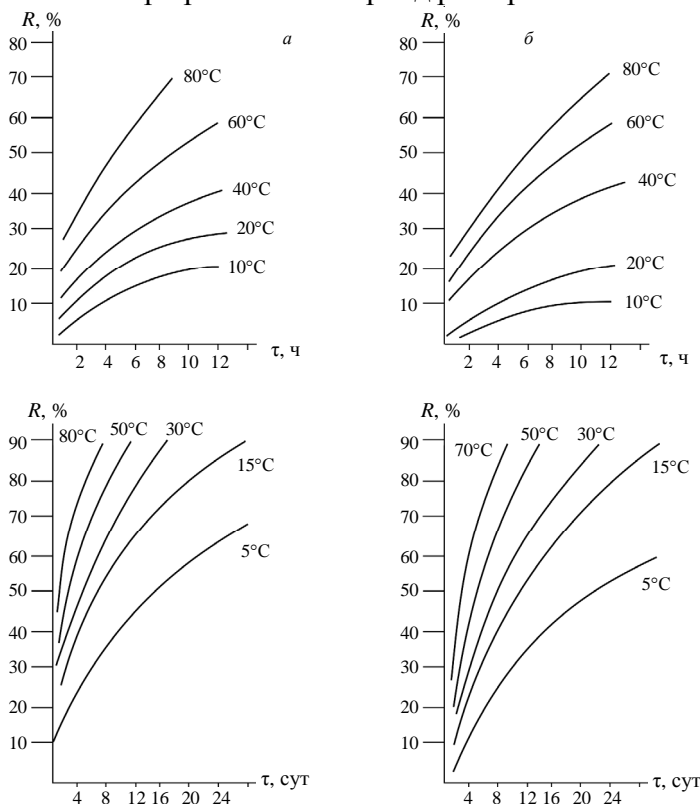


Рис. 21. Графики набора прочности:

а – бетон на портландцементе; б – бетон на шлакопортландцементе

4.2.3.2. Расчет потребной тепловой мощности

Электрическая мощность, требуемая для термообработки изделий и конструкций с заданной скоростью, складывается из мощности на разогрев бетона, мощности на разогрев опалубки и мощности, необходимой для компенсации теплопотерь в окружающую среду. Учитывая экзотермию цемента в процессе набора прочности, которой эквивалентна некоторая мощность, баланс мощностей можно записать в виде

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P_5,$$

где P – требуемая мощность для разогрева бетона конструкции, кВт/м³; P_1 – мощность на разогрев бетона, кВт/м³; P_2 – мощность на нагрев опалубки, кВт/м³; P_3 – мощность на нагрев арматуры, кВт/м³; P_4 – мощность на возмещение теплопотерь, кВт/м³; P_5 – мощность, эквивалентная экзотермическому тепловыделению, кВт/м³.

Удельная мощность, требуемая для разогрева бетона от $t_{б.н}$ до t_{\max} в течение τ_p , т. е. со скоростью

$$V_p = \frac{t_{\max} - t_{б.н}}{\tau_p},$$

составит:

$$P_1 = \frac{C_б (t_{\max} - t_{б.н})}{3600 \cdot \tau_p} = \frac{C_б \cdot V_p}{3600}, \quad (44)$$

где $C_б$ – объемная теплоемкость бетона, кДж/(кг·°C).

Если приближенно считать, что за время τ_p температура опалубки поднимается на $(t_{\max}/2) - t_{н.в}$, то

$$P_2 = \frac{C_{оп} \cdot v_{оп} \cdot M_{п} \cdot \delta_{оп}}{3600 \cdot \tau_p} \left(\frac{t_{\max}}{2} - t_{н.в} \right), \quad (45)$$

где $C_{оп}$, $v_{оп}$ и $\delta_{оп}$ – соответственно теплоемкость, удельная масса материала опалубки и ее толщина; $t_{н.в}$ – температура наружного воздуха, °C.

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

Удельная мощность P_3 , требуемая на нагрев арматуры, составит:

$$P_3 = \frac{C_a \cdot A \cdot V_p}{3600}, \quad (46)$$

где C_a – удельная теплоемкость арматуры, кДж/(кг·°C); A – расход арматуры, кг/м³.

Удельная мощность P_4 , требуемая на возмещение теплопотерь за время τ_p , в среднем составит:

$$P_4 = \frac{K_T \cdot M_{\Pi}}{1000} \left(\frac{t_{\max} \cdot t_{6.н}}{2} - t_{н.в} \right), \quad (47)$$

a удельная мощность, эквивалентная теплу экзотермии, которое выделится за время τ_p , в среднем составит:

$$P_5 = \frac{\Pi \cdot \Xi_p}{3600 \cdot \tau_p} = \frac{\Pi \cdot \Xi_p \cdot V_p}{3600(t_{\max} - t_{6.н})}. \quad (48)$$

Среднее удельное тепловыделение цемента за время разогрева определяется как

$$\Xi_p = Q_{\max} \left[1 - (\beta \cdot \tau_p + 1) \exp^{-\beta \cdot \tau_p} \right]. \quad (49)$$

Удельная мощность $P_{из}$, необходимая для изотермического прогрева, равна:

$$P_{из} = P_{3из} - P_{4из}.$$

Здесь $P_{3из}$ – удельная мощность, затрачиваемая на возмещение теплопотерь при изотермическом прогреве:

$$P_{3из} = \frac{K_T \cdot M_{\Pi}(t_{из} - t_{н.в})}{1000},$$

где $t_{из}$ – температура изотермического прогрева равна обычно t_{\max} .

Величина $P_{4из}$ определяется по формуле

$$P_{4из} = \frac{\Pi \cdot \Xi_{из}}{3600 \cdot \tau_{из}} = \frac{\Pi}{3600 \cdot \tau_{из}} (Q_{\max} - \Xi_p) \left[1 - (\beta \cdot \tau_{из} + 1) \exp^{-\beta \cdot \tau_{из}} \right]. \quad (50)$$

4.2.4. Виды электродов, схема их расстановки и область применения

Для подведения электрической энергии к бетону используют различные электроды (пластинчатые, полосовые, стержневые и струнные). К конструкции электродов и схеме их установки предъявляются следующие требования:

- мощность электропрогрева должна соответствовать мощности, требуемой по тепловому расчету;
- электрические и температурные поля по сечению конструкций должны быть по возможности равномерными;
- электроды желательно располагать снаружи прогреваемой конструкции с целью обеспечения минимального расхода металла;
- установку электродов нужно производить до начала бетонирования (при использовании наружных электродов);
- расход стали на электроды должен быть минимальным.

Вышеизложенным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют пластинчатые электроды.

Пластинчатые электроды относятся к разновидности поверхностных. Это пластины из кровельного железа или стали, нашиваемые на внутреннюю часть опалубки, примыкающей к бетону, и подключаемые к разноименным фазам электрической цепи. Между противолежащими электродами возникает электрическая цепь, обеспечивающая равномерное температурное поле, особенно при прогреве неармированных и малоармированных конструкций.

Применяются пластинчатые электроды в основном для прогрева изделий и конструкций прямоугольного сечения и небольших размеров.

Полосовые электроды изготавливаются из стальных полос шириной 20–50 мм и размещаются либо по двум противоположным плоскостям конструкций, либо по одной ее плоскости. Они так же, как и пластинчатые, нашиваются на внутрен-

ную поверхность опалубки. Токообмен зависит от схемы присоединения полосовых электродов к фазам питающей сети.

В первом случае токообмен происходит между противоположающимися электродами и джоулево тепло выделяется по всей толщине конструкции («сквозной» прогрев).

Во втором случае токообмен происходит между смежными электродами, расположенными на одной из плоскостей конструкции. Джоулево тепло в данном случае выделяется только в периферийном слое на глубину не более $1/2$ расстояния между электродами (периферийный прогрев).

Сквозной прогрев с помощью полосовых электродов с двусторонним размещением зачастую применяют вместо пластинчатых, добиваясь этим самым уменьшения электрической мощности без изменения величины напряжения.

Периферийный прогрев применяют для конструкций любой массивности. Одностороннее размещение полосовых электродов используют при электропрогреве плит, стен, полов и других конструкций толщиной не более 20 см. Для периферийного электропрогрева протяженных конструкций (подпорные стенки, набережные и т. д.) используют электродные панели с полосовыми электродами, которые укладывают на поверхности забетонированной конструкции.

Одной из новых разновидностей являются гибкие электроды, представляющие собой тонкий слой (12–200 мк) напыленного металла или другого материала с высокой электропроводностью, наносимый на опалубку, ткань и т. д.

Как показали производственные эксперименты, расход металла в данном случае сокращается в 10–20 раз.

Стержневые электроды применяются при сплошной конфигурации бетонируемых конструкций. Это арматурные прутки диаметром 6–12 мм, которые устанавливаются в шахматном порядке для обеспечения более равномерного температурного поля в виде плоских групп.

При бетонировании конструкций малого сечения и значительной протяженности применяют одиночные стержневые электроды. Для электротермообработки горизонтально расположенных изделий и конструкций применяются плавающие электроды. Они выполняются из арматурных стержней 6–12 мм и втапливаются в верхние слои бетона.

Один из главных недостатков стержневых электродов заключается в том, что стержни разового пользования после термообработки остаются в теле бетона.

Струнные электроды применяются для прогрева конструкций, длина которых во много раз больше размеров их поперечного сечения (балки, прогоны, сваи и т. д.).

Обычно струнный электрод устанавливается по оси конструкции и подключается к одной фазе, а металлическая опалубка – к другой. В отдельных случаях в качестве электрода может быть использована арматура. Струнные электроды устанавливают до начала бетонирования, крепят их к арматуре через изолирующие прокладки.

При электропрогреве с помощью струнных электродов зачастую наблюдается неравномерность температурного поля, поэтому рекомендуется вести термообработку при небольших напряжениях (до 70 В).

Температурный режим электропрогрева зависит от вида и размеров электродов, расстояния между ними, схемы их размещения в конструкции, а также схемы подключения к питающей сети. Электрическая мощность в теле бетона зависит от перечисленных параметров и рассчитывается по известным формулам.

Подключение электродов от источника питания производится через трансформаторы, распределительные щиты и софиты (рис. 22). Софит представляет собой сухую доску длиной 3–4 м с изоляторами, на ней монтируют провод, к которому присоединяют фазовые провода от электродов. Магистральные и коммутационные провода, как правило, выполняются с медной или алюминиевой жилой. Сечение проводов подбирается

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

в зависимости от параметров силы тока. Электропрогрев ведут на пониженных напряжениях (50–127 В).

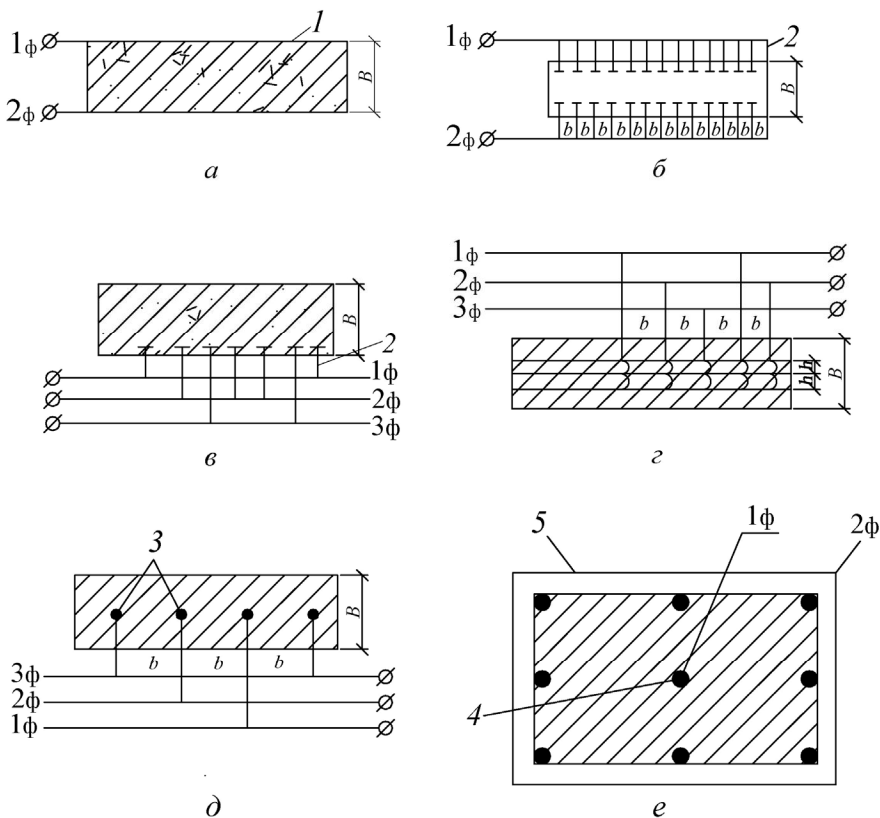


Рис. 22. Виды электродов, схемы их расстановки:

а – схема сквозного прогрева пластинчатыми электродами; б – схема двухстороннего размещения полосовых электродов при сквозном прогреве бетона; в – схема одностороннего размещения полосовых электродов при периферийном прогреве бетона; г – схема размещения плоских групп стержневых электродов; д – схема прогрева бетона одиночными стержневыми электродами; е – схема прогрева бетона струнными электродами; 1 – пластинчатый электрод; 2 – полосовой электрод; 3 – стержневой электрод; 4 – струнный электрод; 5 – металлическая опалубка

При электропрогреве бетона с помощью пластинчатых электродов выделяемая удельная электрическая мощность равна:

$$P = \frac{U^2 \cdot 10^{-3}}{B^2 \cdot \rho_{\text{расч}}}, \text{ кВт/м}^3, \quad (51)$$

где U – напряжение на электродах, В; B – ширина (толщина) прогреваемого изделия, м; $\rho_{\text{расч}}$ – удельное электрическое сопротивление, Ом·м.

$$\rho_{\text{расч}} = \frac{\rho_{\text{нач}} + \rho_{\text{мин}}}{2},$$

где $\rho_{\text{нач}}$ и $\rho_{\text{мин}}$ – соответственно начальное и минимальное значения удельного электрического сопротивления бетона в процессе электропрогрева, Ом·м. Зависят от состава бетона. Для предварительных расчетов при известной величине $\rho_{\text{нач}}$ рекомендуется принимать $\rho_{\text{расч}} = 0,85\rho_{\text{нач}}$, в случае электропрогрева бетонов на плотных заполнителях, и $\rho_{\text{расч}} = 0,8\rho_{\text{нач}}$ – на пористых заполнителях.

Величину удельной электрической мощности, кВт/м³, при сквозном прогреве бетона полосовыми электродами можно определить по формуле

$$P = \frac{10^{-3} \cdot U^2}{B^2 \cdot \rho_{\text{расч}} \left(1 + \frac{\alpha \cdot b}{\pi \cdot B} \ln \frac{b}{2 \cdot a}\right)}, \quad (52)$$

где U – напряжение на электродах, В; B – ширина (толщина) прогреваемого изделия; b – расстояние между электродами, м; a – ширина электрода, м; α – коэффициент при электропрогреве, равный 1,5 при трехфазном и 2 при однофазном токе.

Удельная электрическая мощность, кВт/м³, при одностороннем периферийном прогреве бетона конструкций полосовыми электродами определяется по формуле

$$P = \frac{1,57 \cdot 10^{-3} \cdot U^2}{\rho_{\text{расч}} \cdot B \cdot b \left(\alpha \ln \frac{4 \cdot B}{\pi \cdot a} + \frac{\pi \cdot b}{2 \cdot B}\right)}, \quad (53)$$

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

где B – толщина конструкции, м; b – расстояние между разноименными электродами, м; α – коэффициент, равный при трёхфазовом токе 1,5, при двухфазовом – 2; a – ширина электрода, м.

Периферийный электропрогрев бетонных конструкций толщиной более 30 см рекомендуется осуществлять с размещением электродов на каждой плоскости конструкции. При этом электрическую мощность определяют в расчёте на 1 м² поверхности конструкции по формуле

$$P = \frac{0,785 \cdot 10^{-3} \cdot U^2}{\rho_{\text{расч}} \cdot b \ln \frac{2,54 \cdot b}{a}}. \quad (54)$$

Одиночные стержневые электроды используются для электропрогрева бетонных и железобетонных элементов толщиной до 120 мм (стыки между кромками сборных панелей перекрытий и покрытий, пороговые элементы при возведении сборно-монолитных зданий в объёмно-переставной опалубке и т. п.). Электроды устанавливают в бетон и подключают к разным фазам. Удельная электрическая мощность, кВт/м³, при таком расположении электродов определяется по формуле

$$P = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} \cdot U^2}{\rho_{\text{расч}} \cdot b \cdot B \left(\alpha \ln \frac{B}{\pi \cdot d} + \frac{\pi \cdot b}{B} \right)}, \quad (55)$$

где b – расстояние между осями разноименных электродов, м; B – толщина конструкции, м; d – диаметр электрода, м.

Удельная электрическая мощность, кВт/м³, при электропрогреве бетона плоскими группами стержневых электродов определяется по формуле

$$P = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} \cdot U^2}{\rho_{\text{расч}} \cdot b \cdot h \left(\alpha \ln \frac{h}{\pi \cdot d} + \frac{\pi \cdot b}{h} \right)}, \quad (56)$$

где b – расстояние между осями электродов в соседних плоских группах, м; h – расстояние между осями электродов в плоской группе, м; d – диаметр электрода, м.

В случае, когда применение плоских групп невозможно из-за наличия в конструкции соответствующим образом расположенной арматуры, стержневые электроды размещают в шахматном порядке. Это перекрытия, покрытия, ростверки и т. п. Удельная электрическая мощность, кВт/м³, при таком расположении электродов определяется по формуле

$$P = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} \cdot U^2}{\rho_{\text{расч}} \cdot b^2 \left(\alpha \ln \frac{b}{\pi \cdot d} + \pi \right)}. \quad (57)$$

Удельная электрическая мощность, кВт/м³, при прогреве бетона струнными электродами определяется по формуле

$$P = \frac{6,28 \cdot 10^{-3} \cdot U^2}{\rho_{\text{расч}} \cdot B \cdot H \ln \frac{2 \cdot b}{d} \sqrt[4]{\frac{b}{2 \cdot d_1}}}, \quad (58)$$

где B – ширина сечения конструкции, м; H – толщина конструкции, м; b – расстояние от оси струны до оси арматурных стержней в углах сечения, м; d – диаметр струнного электрода, м; d_1 – диаметр арматурных стержней в углах сечения, м.

4.3. Инфракрасный нагрев в технологии бетонных работ

4.3.1. Физические основы и область применения

Инфракрасные лучи являются составной частью спектра электромагнитных волн, распространяющихся в пространстве с определенной частотой и длиной от 676 до 1000 мкм; скорость их распределения в вакууме равна универсальной константе $c = 2,988 \cdot 10^8$ м/с. Инфракрасные лучи имеют способность по-

глощаться телами и трансформироваться в тепловую энергию. Тепло от источника инфракрасных лучей к нагреваемому телу передается мгновенно, без участия какого-либо переносчика. От нагретых поверхностных слоев тело прогревается за счет собственной теплопроводности (табл. 71).

При тепловой обработке бетонных изделий и конструкций инфракрасными нагревателями наблюдается следующая картина: часть энергии излучения поглощается и переходит в тепловую энергию, часть отражается и уходит в окружающую среду, а оставшаяся энергия проходит через тело бетона. Баланс лучистой энергии складывается из вышеперечисленных величин:

$$E_A + E_R + E_D = E_{\text{э}} \quad \text{или} \quad A + R + D = 1,$$

где $E_{\text{э}}$ – общее количество энергии; E_A , E_R и E_D – соответственно количество поглощенной, отраженной и прошедшей через тело энергии; $A = \frac{E_A}{E_{\text{э}}}$; $R = \frac{E_R}{E_{\text{э}}}$; $D = \frac{E_D}{E_{\text{э}}}$ – коэффициенты, харак-

теризующие поглощательную и отражательную способности и проходимость тела (рис. 23).

Бетон обладает терморadiационными свойствами, т. е. способностью поглощать, отражать и пропускать лучистую энергию. Поэтому тело, полностью поглощающее все падающие на него лучи, в физике принято называть абсолютно черным телом. В природе абсолютно черных тел не существует. Однако есть тела с повышенным коэффициентом поглощения лучей, их принято называть серыми телами. Все тела характеризуются относительной излучательной способностью или степенью черноты, которая показывает, во сколько раз интегральная плотность излучения данного тела меньше интегральной плотности излучения абсолютно черного тела при той же температуре:

$$\varepsilon = \frac{R_{\text{э}}}{R_{\text{э, черн}}}.$$

**Основные термины, определения, буквенные обозначения
и единицы измерения величины инфракрасного излучения**

Энергетическая величина (термин)	Определение	Буквенное обозначение	Формула	Единицы измерения
Лучистая энергия (энергия излучения)	Энергия, переносимая электромагнитным излучением и определяемая как произведение лучистого потока на время действия излучения	W	$W = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Phi \cdot dt$	Вт·с
Лучистый поток (поток энергии излучения)	Мощность оптического излучения (средняя мощность электромагнитного излучения за время, значительно большее периода колебаний)	Φ_3	$\Phi_3 = \frac{dW}{dt}$	Вт·с
Плотность излучения (энергетическая светимость)	Поверхностная плотность лучистого потока излучения, испускаемого поверхностью, равная отношению лучистого потока к площади излучающей поверхности	R_3	$R_3 = \frac{d\Phi_3}{dF \cdot u}$	Вт/м ²
Облученность (энергетическая освещенность)	Поверхностная плотность лучистого потока излучения, падающего на поверхность, равная отношению лучистого потока к площади облучаемой поверхности, по которой она равномерно распределяется	E_3	$E_3 = \frac{d\Phi_3}{dF_0}$	Вт/м ²

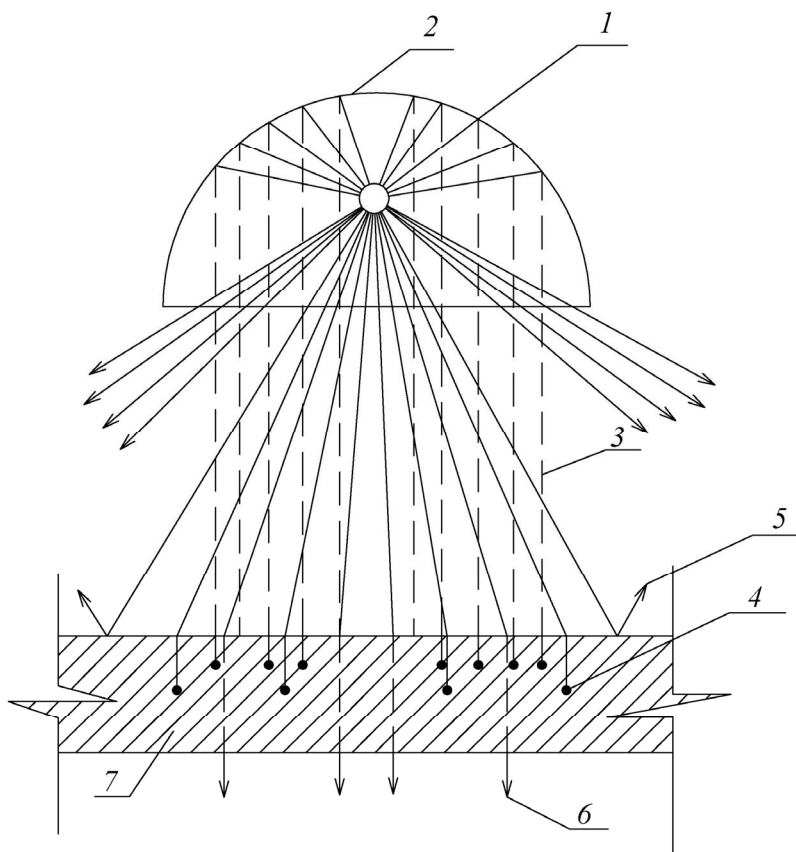


Рис. 23. Схема нагрева тела инфракрасными лучами:

1 – инфракрасный излучатель; 2 – рефлектор; 3 – направленный поток лучей; 4 – часть лучистой энергии, поглощенная телом (A); 5 – часть лучистой энергии, отраженная телом (R); 6 – часть лучистой энергии, прошедшая сквозь тело (D); 7 – облучаемое тело

Степень черноты тела и его поглощательная способность численно равны между собой, т. е. $\varepsilon = E \cdot A$. Таким образом, тела с большей излучательной способностью обладают большей поглощательной способностью, и наоборот (табл. 72).

Степень черноты материалов

Материал	Температура, °С	Степень черноты
Бетон	22–100	0,65–0,85
Вода	0–100	0,95–0,98
Древесина	20	0,7–0,8
Железо:		
полированное	400–1000	0,14–0,38
окисленное	100	0,74
оцинкованное	20	0,28
Жесть белая	20	0,28
Керамзитобетон	20–150	0,7–0,9
Краски:		
алюминиевые	100	0,3–0,35
масляные	100	0,92–0,96
Лак черный матовый	40–100	0,96–0,98
Нихромовая проволока окисленная	50–500	0,95–0,98
Сталь:		
листовая шлифованная	95–1100	0,55–0,61
с шероховатой поверхностью	50	0,95–0,98
сильно окисленная	50–500	0,88–0,98

Плотность излучения (энергетическая светимость) в зависимости от температуры определяется выражением

$$R_3 = \varepsilon \cdot \sigma_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (59)$$

где σ_0 – постоянная излучения, равная 4,96 ккал/(м²·ч·К), или 5,75 кВт/(м²·°С); T – абсолютная температура тела.

Инфракрасное излучение при производстве бетонных работ в зимнее время рекомендуется применять для обогрева бетонных поверхностей и оснований, тепловой защиты укладываемого бетона, интенсификации твердения бетона, предварительного разогрева арматуры и закладных деталей в узлах и т. д. (рис. 24).

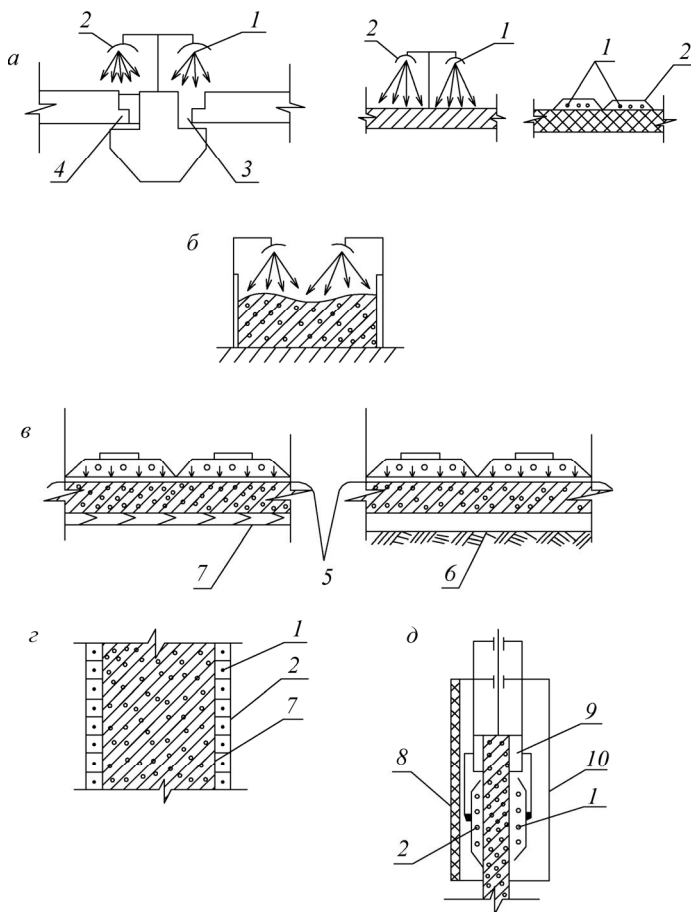


Рис. 24. Инфракрасный нагрев в технологии бетонных работ:

а – отогрев промороженного бетона и оснований; б – тепловая защита укладываемого бетона; в – теплообработка бетона в покрытиях и перекрытиях; г – интенсификация твердения бетона при возведении конструкций в металлической опалубке; д – термообработка бетона в скользящей опалубке; 1 – инфракрасный излучатель; 2 – отражатель; 3 – зона отогрева бетона; 4 – вновь укладываемый бетон; 5 – полиамидная пленка; 6 – подготовка под бетон; 7 – металлическая опалубка; 8 – укрытие наружных лесов; 9 – металлическая опалубка; 10 – подвесные леса

Применение инфракрасного излучения дает возможность производить практически все технологические операции, направленные на качественное выполнение бетонных работ в зимних условиях.

4.3.2. Электрические инфракрасные излучатели, применяемые в строительстве

Для электротермообработки бетона в основном используются технические инфракрасные излучатели с температурой излучающей поверхности от 600 до 2500 К. Они относятся к серым излучающим телам.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает в основном три группы излучателей: металлические трубчатые (ТЭНы), кварцевые и карборундовые стержневые.

Металлические трубчатые излучатели состоят из трубы, нихромовой спирали и изолятора. В качестве изолятора рекомендуется использовать периклаз – кристаллическая окись магния. Трубки для излучателей выполняются из стали, латуни, меди, диаметр их от 9 до 18 мм, длина до 6 м, толщина стенки до 1,5 мм. ТЭН может иметь различную форму (прямую, спиральную, форму змеевика и т. д.).

Срок службы электронагревателей не менее 5 лет. В качестве генераторов инфракрасного излучения в теплоэлектронагревателях рекомендуется применять нагреватели НВСЖ, НВС (нагреватель воздушный сушильный жаростойкий и нагреватель воздушный сушильный). Погонная мощность их достигает 0,6–1,2 кВт/пог. м, температура излучающей поверхности – от 600 до 900 К, рабочие параметры электроэнергии – от 127 до 980 В.

Для электротермообработки бетона применяются также карборундовые и кварцевые излучатели. Карборундовые изготавливаются из карбида кремния в виде стержней диаметром до 50 мм, длиной до 1 м. Погонная мощность нагревателя достигает 10 кВт/пог. м, а температура на поверхности – 1500 К.

Широкое применение в строительстве находят кварцево-трубчатые излучатели типа НИК-220-1000 Т_р (нагреватель инфракрасный кварцевый на напряжение 220 В мощностью 1000 Вт трубчатый). Они представляют собой кварцевую трубку диаметром до 370 мм с вольфрамовой спиралью, нагреваемой до 2550 К. Полное пространство излучателя заполняется парами йода, которые препятствуют испарению вольфрама во время эксплуатации.

Инфракрасные излучатели выпускаются отечественной промышленностью (Миасским заводом «Миассэлектроаппарат», механическим заводом «Главмоспромстройматериалы», Московским заводом торгового оборудования и рядом других ведомственных заводов).

Карборундовые излучатели в основном изготавливаются на Подольском заводе огнеупорных изделий.

Инфракрасные нагреватели успешно были применены при строительстве Саратовской ГЭС, телевизионной Останкинской башни, Новокузнецкого металлургического комбината, Череповецкого металлургического завода и других сооружений.

4.3.3. Схема электроснабжения инфракрасных установок и автоматизирующие процессы нагрева

Инфракрасные нагреватели питаются от трехфазной электросети напряжением 380/220 В. Электроэнергия от подстанции подается к силовому шкафу, затем через магнитные пускатели к инфракрасным установкам (рис. 25).

Силовая разводка выполняется кабелем КРПТ (от трансформаторной подстанции до силовых шкафов) и шланговыми кабелями марки ШРПС (для непосредственного подвода электроэнергии к инфракрасным установкам). Магистральные и разводящие кабели рассчитываются по допустимым нагрузкам с учетом 50 % потери напряжения.

Инфракрасные установки коммутируются внутри медными или алюминиевыми проводами, шинами и подключаются к разводящим кабелям при помощи разъединительных муфт.

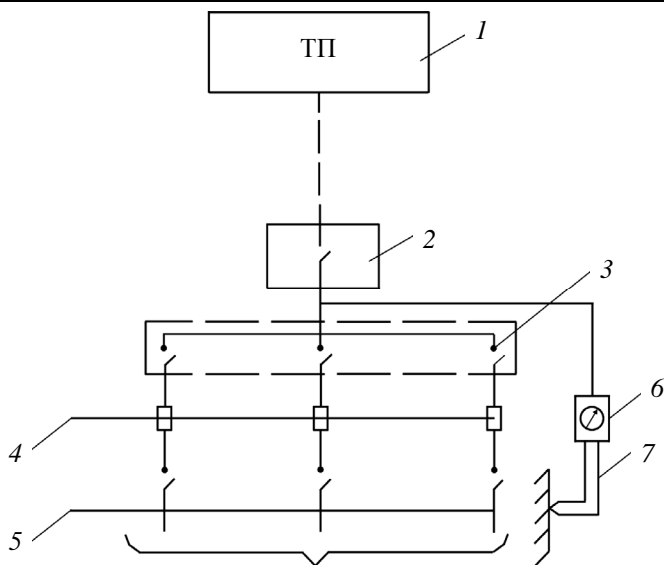


Рис. 25. Принципиальная схема электроснабжения инфракрасных установок и автоматизации процесса нагрева:

1 – трансформаторная подстанция; 2 – вводный рубильник; 3 – распределительный шкаф; 4 – магнитные пускатели; 5 – рубильники включения инфракрасных установок; 6 – прибор контроля и регулирования процесса нагрева; 7 – датчик температур

Инфракрасные установки коммутируются внутри медными или алюминиевыми проводами, шинами и подключаются к разводящим кабелям при помощи разъединительных муфт. Электротермообработка бетонных поверхностей инфракрасными нагревателями допускается при наличии автоматизации процесса нагрева. В зависимости от марки бетона, M_n , назначения конструкции, технологической надобности, вида цемента, потока бетона, сроков производства работ и т. д. разрабатывается и задается соответствующий режим электротермообработки бетона.

Автоматизация электротермообработки бетонных изделий и конструкций осуществляется при помощи потенциометра типа АСП или ЭКС-120. В качестве компенсационного провода

принимается кабель марки ХККП (спай хромелевого и капелевого провода на конце компенсационного провода и магнитного пускателя).

По сечению конструкции устанавливаются термопары, соединенные с потенциометром, которые в зависимости от режима электротермообработки включают или отключают систему прогрева через катушку магнитного пускателя. Одновременно дистанционные потенциометры позволяют автоматически вести запись режима прогрева бетона на диаграммах, которые затем помещаются в журнале производства работ.

4.3.4. Режимы термообработки

Прежде чем перейти к рассмотрению режимов электро-термообработки бетона, необходимо отметить, что требования к материалам бетона, подвергаемого инфракрасному нагреву, те же, что и к любым бетонам. В подразд. 1.3 дано подробное описание требований к материалам, а также подбора состава, приготовления, транспортирования, укладки и ухода за бетоном.

Режим термообработки бетона инфракрасными излучателями подразделяется на три этапа: подъем температуры в теле бетона до расчетной; изотермический прогрев при данной температуре; остывание до температуры окружающей среды. Остывание бетона может быть регулируемым и свободным.

На становление физико-механических свойств бетона, обработанного инфракрасным излучением, влияют следующие факторы:

- 1) продолжительность предварительного выдерживания;
- 2) выдерживание скорости подъема;
- 3) обеспечение свободной или исключенной массоотдачи;
- 4) температура и время изотермического прогрева;
- 5) время остывания;
- 6) характеристики бетона (состав бетона, вид применяемого цемента, наличие добавок);

7) условия последующего выдерживания (нормальное или воздушно-сухое);

8) модульные характеристики прогреваемого элемента (модуль поверхности и модуль массоотдачи).

Сочетание вышеперечисленных факторов предопределяет выбор режимов электротермообработки бетона. На рис. 26 предложены возможные схемы тепловой обработки изделий и конструкций инфракрасными нагревателями.

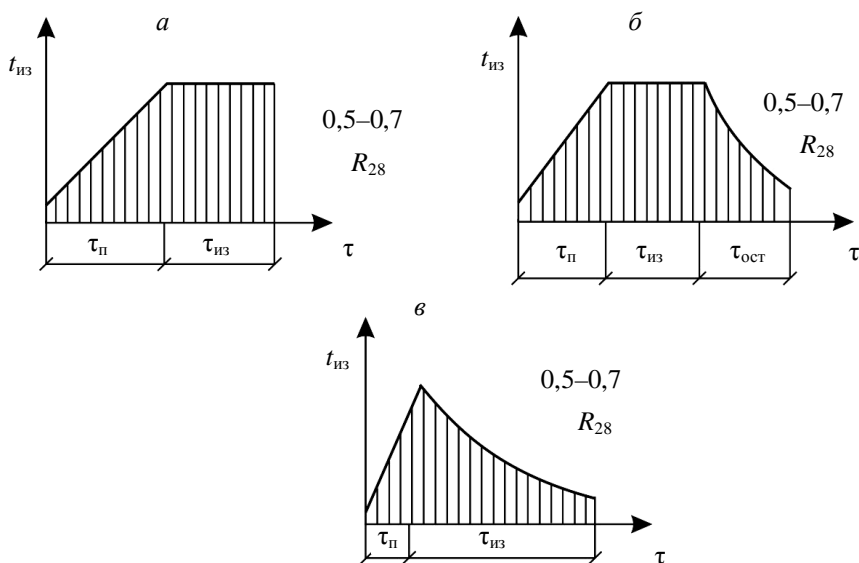


Рис. 26. Режимы термообработки бетона с получением 50–70 % прочности от R_{28} :

a – режим, не учитывающий нарастания прочности; *б* – режим, учитывающий нарастание прочности; *в* – термос; $\tau_{п}$ – подъем температуры; $\tau_{из}$ – изотермический прогрев; $\tau_{ост}$ – продолжительность остывания изделия

Режим, изображенный на рис. 26, *a*, не учитывающий нарастание прочности бетона при его остывании, состоит из двух

этапов (подъем температуры и изотермический прогрев) и применяется при электротермообработке тонкостенных конструкций, выполняемых в металлической опалубке, с $M_n > 15$ и модулем массотдачи $0,04\text{--}1,0 \text{ м}^{-1}$.

Режим, изображенный на рис. 26, б, учитывает нарастание прочности бетона при остывании конструкций. Он состоит из трех этапов (подъем температуры, изотерма, остывание) и обеспечивает проектную прочность к концу остывания, применяется для электротермообработки пространственных конструкций с $M_n 6\text{--}15$ и модулем массотдачи $1,5\text{--}10 \text{ м}^{-1}$.

Режим, изображенный на рис. 26, в, учитывает нарастание прочности при подъеме и свободном остывании изделий и конструкций (термос), рекомендуется для массивных элементов с M_n до 6 и модулем массотдачи $1,5\text{--}10 \text{ м}^{-1}$.

Одним из главных недостатков метода электротермообработки бетона инфракрасными лучами является интенсивная массотдача (сушка бетона) в окружающую среду. На величину массотдачи влияют многие факторы: температура поверхности бетона, ее площадь, время электротермообработки, состав бетона, эффективность укрытия и т. д.

Потеря влаги в конструкциях с модулем массотдачи ($M_n = \text{м}^{-1}$) при условии получения прочности 70 % от R_{28} составляет 35–42 % от количества воды затворения. Высушивание бетона в дальнейшем приводит к недобору прочности по сравнению с R_{28} до 25 %. При прогреве изделий, покрытых полиамидной пленкой (условие частично исключенной массотдачи), по тем же режимам потери влаги составляют 25–30 % от воды затворения. Прочность этих бетонов в 28-суточном возрасте не уступает прочности образцов нормального хранения.

Итак, влагопотери бетонов на портландцементях до 30 % и на шлакопортландцементях до 35 % от воды затворения при инфракрасном нагреве мало отражаются на конечной прочности.

В МИСИ под руководством проф. Н.Н. Данилова проделана большая работа по разработке режимов инфракрасного на-

грева, изучению физико-механических свойств бетонов, прогнозированию их прочности и т. д.

На рис. 27, 28 приведены графики прочности бетона сразу после прогрева в зависимости от времени и температуры изотермического прогрева пространственных плит и тонкостенных конструкций, возводимых в скользящей опалубке. Этими графиками можно пользоваться в качестве приближенных данных.

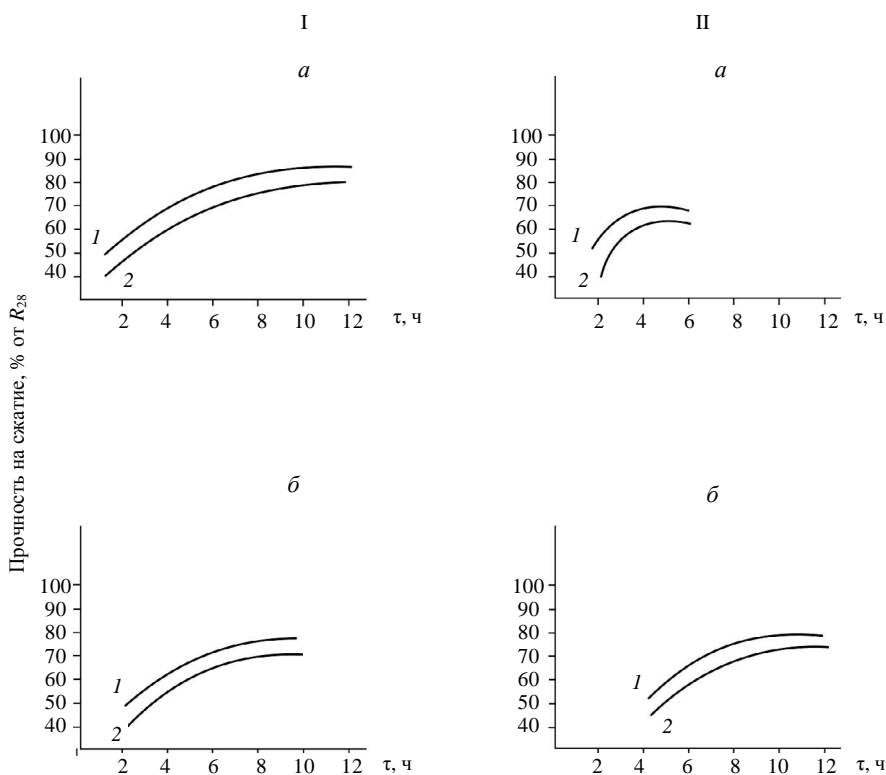


Рис. 27. График прочности бетона на портландцементе М400 сразу после прогрева:

I – в плитных элементах; II – в формуемых вертикально тонкостенных элементах; а – температура изотермического прогрева 98 °С; б – то же 80 °С; 1 – бетонная смесь с В/Ц = 0,4; 2 – бетонная смесь с В/Ц = 0,5

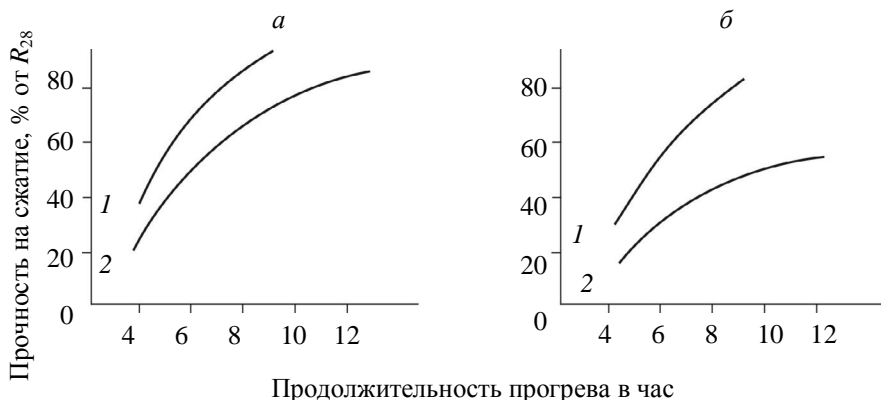


Рис. 28. График набора прочности бетона на портландцементе М400 в стенках сооружений, возводимых в скользящей опалубке с односторонней подачей лучистой энергии:
а – бетон с предварительной выдержкой; *б* – сразу после прогрева;
1 – температура изотермического прогрева 80 °С; *2* – то же 60 °С

4.3.5. Техника безопасности

При тепловой обработке бетонных изделий и конструкций инфракрасными нагревателями необходимо учитывать биологическое действие инфракрасного излучения на организм человека, электробезопасность и противопожарную безопасность.

Установлено, что биологическое действие лучей инфракрасных нагревателей на организм человека зависит в основном от длины волн. Так, длина волн от 0,7 до 1,4 мкм способна глубоко проникать в ткани человеческого организма, особенно в роговую оболочку глаз. Влияние лучей с такими параметрами волн вызывает воспаление глаз, что в конечном итоге может привести к потере зрения. Работая с открытыми нагревателями, обслуживающий персонал должен иметь защитные очки, способные задерживать инфракрасные лучи. В качестве фильтров для таких очков можно использовать стекла Акло, Коренса, Иютта и стекло с прокладкой из желатиновой пленки.

Инфракрасные лучи также оказывают влияние на общепедагогическое состояние организма человека. При большой интенсивности теплового потока (более $7000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$) могут иметь место функциональные сдвиги (увеличиваются пульс, частота дыхания, снижается артериальное давление), а инфракрасные лучи с малой интенсивностью ($1500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$) положительно влияют на организм человека.

Во избежание воздействия высокой степени интенсивности инфракрасного излучения на организм человека источники (короб, отражатель) должны быть изолированы асбестом, минеральной ватой, стекловатой и т. п.

Установки инфракрасного излучения питаются током напряжением 380/220 и 220/127 В, поэтому следует строго соблюдать правила электробезопасности. Установки должны быть выполнены и установлены согласно ПУЭ (правила устройства электроустановок), поэтому мы приводим лишь специфические особенности термообработки бетона инфракрасными лучами.

1. Рабочие, обслуживающие инфракрасные установки, должны иметь допуск на право производства работ.

2. Вход посторонних лиц в зону работы инфракрасных установок строго запрещен.

3. Инфракрасные установки, а также приборы автоматики управления должны быть заземлены или занулены.

4. Для подводки электроэнергии в основном рекомендуется применять шланговые провода.

5. Сопротивление изоляции должно проверяться в установленные сроки.

6. В случае ремонта, монтажа и демонтажа установок необходимо снять напряжение и повесить предупреждающие знаки.

7. При работе в три смены необходимо освещать рабочие места и устанавливать предупредительные знаки.

8. Не допускается установка инфракрасных нагревателей вблизи сгораемых материалов.

9. Скользящая опалубка должна быть рассчитана на дополнительную нагрузку от электрооборудования и обслуживающего персонала.

10. Необходимо периодически проверять знание техники безопасности при работе с инфракрасными нагревателями.

4.3.6. Примеры расчета электротермообработки бетона инфракрасными излучателями для сооружений, возводимых в скользящей опалубке

Электротермообработка бетона, возводимого в скользящей опалубке, инфракрасными лучами осуществляется локально (по мере подъема опалубки) и практически подразделяется на 4 этапа.

1. Инфракрасные установки монтируются по периметру скользящих форм, нагревают опалубку, затем первые слои бетона. При этом опалубка и нагреватели остаются неподвижными, т. е. $V_{оп} = V_y = 0$ (здесь $V_{оп}$ – скорость подъема опалубки, V_y – скорость перемещения инфракрасных установок, м/ч).

2. Скользящая опалубка поднимается на высоту, равную высоте подвесных лесов, а инфракрасные установки остаются в первоначальном положении и прогревают слой бетона, равный высоте самих установок. При этом $V_{оп} > 0$; $V_y = 0$.

3. По мере укладки бетона опалубка скользит и поднимается по отношению к уровню уложенного бетона, увлекая за собой инфракрасные установки (синхронно). В этом случае $V_{оп} = V_y > 0$.

4. Дойдя до проектной отметки, опалубка останавливается, а инфракрасная установка поднимается вверх, т. е. $V_{оп} = 0$; $V_y > 0$. Скорость подъема установки на четвертом этапе не должна превышать средней скорости подъема опалубки.

Время термообработки бетона зависит от скорости перемещения инфракрасных установок и их высоты, а требуемая установочная мощность обратно пропорциональна времени термообработки:

$$\tau = \frac{h_y}{V_y},$$

где τ – время термообработки бетона; h_y – высота инфракрасной установки; V_y – скорость перемещения инфракрасной установки относительно бетона.

При бетонировании изделий и конструкций в скользящей опалубке каждый слой уложенного бетона будет проходить предварительную выдержку, длительность которой определяется выражением

$$\tau_{п.в} = \frac{h_{л} - h_y}{V_{оп}},$$

где $\tau_{п.в}$ – время предварительного выдерживания, ч; $h_{л}$ – высота подвижных лесов, м; время разогрева определяется по формуле

$$\tau = \frac{h_p}{h_{оп}},$$

где τ – время разогрева, ч; h_p – высота зоны разогрева, м; а время изотермического прогрева определяется как

$$\tau_{из} = \frac{h_{из}}{V_{оп}},$$

где $\tau_{из}$ – длительность изотермического прогрева, ч; $h_{из}$ – высота зоны изотермического прогрева, м; $\tau_{ост}$ – длительность остывания зависит от конструкции тепляка, скорости подъема форм, температуры окружающей среды, скорости ветра, местоположения нагревателей (снаружи или внутри сооружения).

При электротермообработке бетона в скользящей опалубке инфракрасными нагревателями режим прогрева бетона проходит по двум стадиям – прогрев и изотермический прогрев (см. рис. 25 и 26).

Рассмотрим пример электротермообработки бетона инфракрасными нагревателями при возведении монолитного сило-са с толщиной стенки $\delta = 20$ см.

Исходные данные: 1) схема подачи лучистой энергии односторонняя (со стороны наружных лесов); 2) массоотдача свободная; 3) скорость подъема опалубки – 2,8 м/сут (0,12 м/ч); 4) бетон В30 на портландцементе М500 с расходом цемента 380 кг/м³ и В/Ц = 0,5; объемный вес бетона 2400 кг/м³; удельная теплоемкость $C = 1,05$ кДж/(кг·°С); 5) температура изотермического прогрева на поверхности облучения $t_{из} = +80$ °С; 6) на необлучаемой поверхности $t_{из} = +60$ °С; 7) температура воздуха на наружных подвесных лесах $t_{в.н} = +20$ °С; 8) температура воздуха на внутренних подвесных лесах $t_{в.в} = +7$ °С; 9) прочность бетона после термообработки должна быть не менее 50 % от R_{28} . Расчет производится на 1 пог. м периметра сооружения.

Согласно графику (см. рис. 28, б) для обеспечения набора прочности 50 % от R_{28} принимаем время изотермического прогрева 8 ч при температуре +80 °С и $t_{б.н} = +10$ °С. Время подъема до изотермической температуры принимается 3 ч. Коэффициент теплоотдачи за счет конвекции и лучеиспускания со стороны инфракрасной установки $\alpha_1 = 11,6$ Вт/(м²·°С), а с противоположной стороны $\alpha_2 = 17,4$ Вт/(м²·°С) или (15 ккал/м²·ч·град).

Итак, для принятой скорости подъема высота зоны разогрева будет равна $h_p = 0,12$ м/ч·3 ч = 0,36 м, а зоны изотермического прогрева $h_{из} = 0,12 \cdot 8 = 0,96$ м. Объем бетона зоны разогрева $V_6^R = (0,36 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \cdot 0,2 \text{ м}) = 0,072 \text{ м}^3$, а зоны изотермического прогрева $V_6^{из} = (0,96 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \cdot 0,2 \text{ м}) = 0,192 \text{ м}^3$.

Интенсивность интегрального экзотермического выделения за период разогрева бетона и изотермического прогрева (см. табл. 94) соответственно будет равна ≈ 17 и 25 кДж/кг·ч.

При модуле массоотдачи элемента ≈ 10 и ожидаемой потребной энергетической оснащенности порядка 2000 ккал/м²·ч по табл. 73 принимаем коэффициент массоотдачи равным 0,15.

Тогда интенсивность теплоотдачи испарением составит:

$$q_{\text{исп}} = \frac{0,15 \cdot 190 \cdot 536}{100} = 153 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч},$$

$$\frac{1 \text{ ккал}}{\text{ч} \cdot \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 1,16 \text{ кВт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)},$$

где $q_{\text{исп}}$ определяется как произведение количества испарившейся воды с 1 м² поверхности элемента в килограммах на теплоту парообразования.

Таблица 73

Условный коэффициент массоотдачи

Модуль испарения		Условная массоотдача									
		свободная					частично исключенная				
		Энергетическая оснащенность, ккал/м ² ·ч (Вт/м·ч)									
		1720		4300			1720		4300		
Бетон не имеет структурной прочности											
10,00		1,01		1,9		0,15		0,52			
5,00		0,72		1,33		0,13		0,44			
3,3		0,63		1,10		0,12		0,40			
2,5		0,58		1,01		0,10		0,36			
Бетон имеет начальную структурную прочность											
31	0,28	0,14	0,09	0,52	0,36	0,17	0,15	0,09	0,05	0,38	0,23
13,3	0,19	0,13	0,08	0,80	0,21	0,12	0,08	0,04	0,03	0,19	0,10

Составим уравнение теплового баланса с учетом допущения о равномерности прогрева всего элемента (ограниченной толщины). Тогда уравнения теплового баланса могут быть представлены следующими формулами (случай твердеющего бетона):

а) стадия подъема температуры

$$\begin{aligned} \varepsilon \cdot E_{\vartheta_1} \cdot F_{\text{п}} \cdot \tau + Q_{\text{экз}_1} \cdot \tau_1 = \\ = Q_{\text{эл}} + \left[(\alpha \cdot F_{\text{от}} + k \cdot F_{\text{п}}) (t_{\text{ср}_1} - t_{\text{в}}) + q_{\text{исп}} \cdot F_{\text{от}} \right] \tau_1; \end{aligned} \quad (60)$$

б) стадия изотермического выдерживания

$$\varepsilon \cdot E_{\vartheta_2} \cdot F_{\text{п}} + Q_{\text{экз}_2} = (\alpha \cdot F_{\text{от}} + k \cdot F_{\text{п}}) (t_{\text{из}} - t_{\text{в}}) + q_{\text{исп}} \cdot F_{\text{от}}, \quad (61)$$

где ε – степень черноты поверхностей (см. табл. 72); E_{ϑ_1} – энергетическая оснащенность на поверхности нагрева элемента,

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

ккал/м²·ч·град (Вт/м²·°C); $F_{\text{по}}$ – площадь поверхности облучения, м²; $F_{\text{от}}$ – площадь незаопалубленных поверхностей, м²; $F_{\text{п}}$ – площадь заопалубленных поверхностей, м²; τ_1 – время подъема температуры, ч; $Q_{\text{эк}_1}$ – экзотермия тепловыделения в теле бетона при $t_{\text{ср}}$, Вт/ч; $Q_{\text{эк}_2}$ – экзотермия тепловыделения при изотермической температуре, Вт/ч; $Q_{\text{эл}}$ – тепло, необходимое для разогрева бетонного элемента, Вт; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К; k – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К; $t_{\text{ср}_1}$ – средняя температура на стадии подъема температуры от начальной до изотермической, °C; $t_{\text{из}}$ – температура (изотермическая) поверхности нагрева элемента, °C; $t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, °C; $q_{\text{исп}}$ – интенсивность теплоотдачи испарением с 1 м² открытых бетонных поверхностей, Вт/м·ч.

Из уравнения теплового баланса определяем потребную энергетическую оснащенность на поверхности опалубки для зоны разогрева

$$E_{\text{э}_1} = \frac{0,75}{0,8 \cdot 0,36 \cdot 3} \times \left\{ 0,25 \cdot 2400 \cdot 0,072 \cdot 70 + \left[10 \frac{0,72}{2} \left(\frac{80+10}{2} - 20 \right) - 15 \frac{0,72}{2} \left(\frac{80+10}{2} - 7 \right) + \right] 3 \right\} =$$

$$= 3382 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч},$$

т. е. 3923 Вт/(м²·°C);

$$E_{\text{э}_2} = \frac{1,25}{0,8 \cdot 0,96} \times \left[10 \frac{1,92}{2} (80 - 20) + 15 \frac{1,92}{2} (60 - 7) + \right]$$

$$+ 170 \cdot 1,92 - 6 \cdot 980 \cdot 0,192$$

$$= 1150 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч},$$

т. е. $1334 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$.

В качестве нагревателей принимаем металлические трубчатые типа НВСЖ (нагреватель воздушный сушильный жаростойкий) диаметром 18 мм в количестве 4 шт. на 1 пог. м. Рефлектор выполнен из алюминия (окисленный $\varepsilon = 0,2$).

Задаемся параметрами инфракрасного излучателя: среднее расстояние между излучателями 30–35 см, между излучателем и отражающей поверхностью 5 см и между отражающей поверхностью 25 см.

Стенки резервуара имеют плоскопараллельные поверхности поглощения и отражения расположенных между ними трубчатых излучателей (рис. 29).

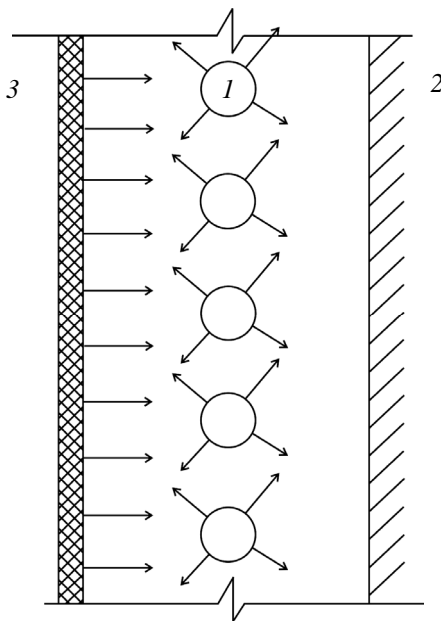


Рис. 29. К определению коэффициента облученности в системе:

1 – трубчатые излучатели; *2* – поверхность нагрева; *3* – поверхность отражения

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

Средний коэффициент облученности определяется выражением

$$\varphi_{1-2-3} = \varphi_{1-2} + \left[(1 - \varepsilon_3) \varphi_{1-3} - \varphi_{3-2} - \varphi_{3-1} \right],$$

где φ_{1-2} ; φ_{1-3} ; φ_{3-1} ; φ_{3-2} принимаются согласно формулам (см. табл. 71); ε_3 – степень черноты поверхности отражения (принимается согласно данным табл. 72).

Вычисляем средний коэффициент облученности системы:

– для зоны разогрева бетона

$$\varphi_{1-2-3}^{\text{раз}} = 0,65;$$

– для зоны изотермического прогрева

$$\varphi_{1-2-3}^{\text{из}} = 0,32.$$

Тогда минимальная мощность определяется:

$$N_y = 1,16 \frac{E_{\text{э.пов}}}{k \cdot \varphi} F,$$

где N_y – необходимая электрическая мощность инфракрасной установки, Вт; 1,16 – коэффициент перевода ккал/м²·ч в Вт/м²; k – коэффициент, учитывающий количество лучистой энергии, генерируемой инфракрасными излучателями, от общей энергии, подводимой к ним; φ – коэффициент облученности, показывающий, какая доля общей лучистой энергии, генерируемой инфракрасными излучателями, падает на поверхность нагрева; F – поверхность нагрева, м²;

$$N_y^{\text{раз}} = 1,16 \frac{3382}{0,8 \cdot 0,65} 0,36 = 2716 \text{ Вт};$$

$$N_y^{\text{из}} = 1,16 \frac{1150}{0,8 \cdot 0,32} 0,96 = 5002,5 \text{ Вт}.$$

Итак, общая мощность инфракрасной установки (на погонный метр периметра сооружения) составит:

$$N_y = 2,72 + 5,0 = 7,72 \text{ кВт}.$$

Зная потребную мощность, геометрические размеры конструкции, запроектируем инфракрасную установку: на 1 пог. м

периметра сооружения принимаем две инфракрасные установки размером 50×162 см, оснащенные U-образным излучателем с развернутой длиной 294 см и погонной мощностью $N = 1,3$ кВт.

На рис. 30 дана схема инфракрасной установки, которая состоит из двух зон (обеспечивающей разогрев и обеспечивающей изотермический прогрев).

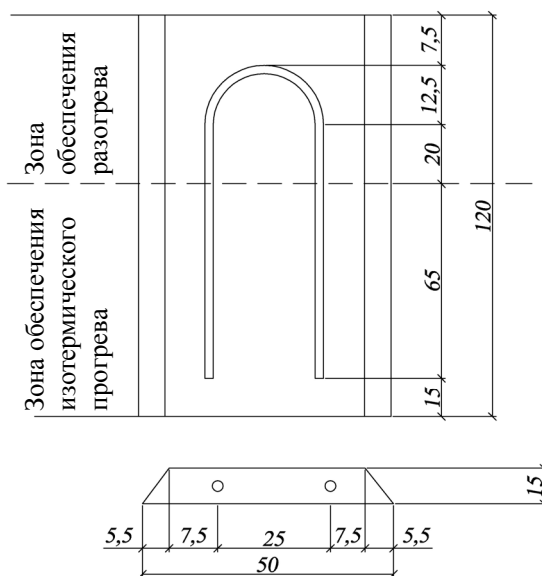


Рис. 30. Конструктивная схема инфракрасной установки

4.4. Индукционный прогрев монолитных железобетонных каркасных конструкций

4.4.1. Общие положения

При индукционном методе термообработки бетона используют тепло, выделяемое в арматуре или стальной опалубке, находящейся в электромагнитном поле катушки-индуктора, которая включена в цепь переменного электрического тока.

Тепловая энергия, образующаяся в арматуре и опалубке за счет переменного магнитного поля, передается бетону.

Индукционный нагрев применяется в основном для тепловой обработки длинномерных конструкций с небольшим переменным сечением (колонны, ригели, трубы, опоры ЛЭП, сваи и т. п.) и большим процентом армирования. Этот метод применяется в построечных и заводских условиях.

Интенсивность тепловыделения источников тепла при индукционном нагреве не зависит от свойств бетона, а определяется электрическими и магнитными свойствами источника (арматурой, опалубкой, формой, стенкой камеры) и напряженностью магнитного поля.

Электромагнитные поля с большими периметрами могут быть получены с помощью многовитковых катушек-индукторов из хорошо проводящего материала. Вихревые токи, возникающие в опалубке и арматуре, циркулируют не по всей ее толще. По мере проникновения вглубь электромагнитная волна затухает, поэтому плотность тока и напряженность полей имеют наибольшие значения у поверхности металла.

Электромагнитная волна с частотой f , падающая на поверхность металла, имеющего удельное электросопротивление ρ_s и магнитную проницаемость μ_1 , затухает в поверхностном слое толщиной ΔS (ΔS – глубина проникновения тока в металл)

$$\Delta S = 5030 \sqrt{\frac{\rho_s}{\mu_1 \cdot f}}, \text{ см.} \quad (62)$$

С единицы поверхности металла, удельное сопротивление которой ρ , а относительная магнитная проницаемость μ , находящейся в переменном с частотой f магнитном поле напряженностью H , выделяется активная мощность (ΔP_a), Вт/см²

$$\Delta P_a = \rho_n \cdot H^2, \quad (63)$$

где ρ_n имеет физический смысл удельного поверхностного электрического сопротивления материала загрузки:

$$\rho_n = \frac{\rho}{\Delta S} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot f} \text{ Ом.} \quad (64)$$

Зная ρ , μ и f , можно определить напряженность поля H , которую необходимо создать, чтобы выделить в металле требуемую мощность ΔP_a . Однако μ является функцией напряженности поля; для вычисления ΔP_a необходимо заранее знать зависимость μ от H .

На рис. 31 представлена зависимость между удельным электросопротивлением материала (Ом·см), выделяемой активной мощностью (Вт/см²) и магнитным полем напряженности (Ом/см²).

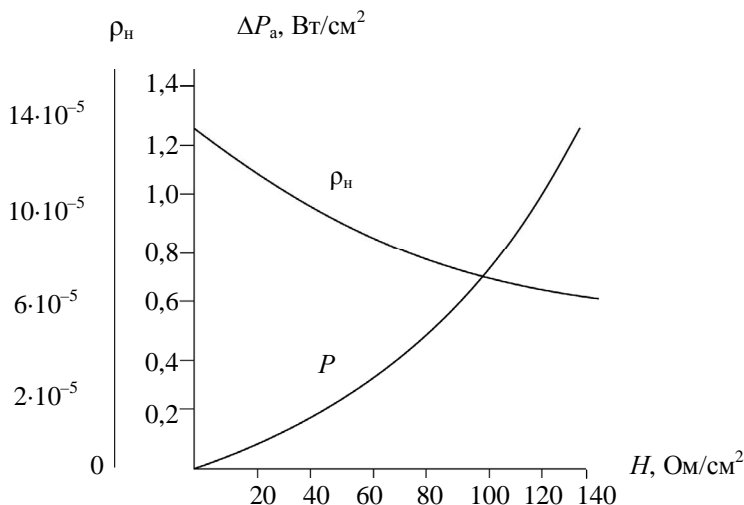


Рис. 31. Зависимость удельной мощности P и удельного поверхностного сопротивления ρ_n металла от напряженности магнитного поля

Количество витков N , необходимое для создания требуемой напряженности поля, определяется по формуле

$$N = \frac{V}{Z \cdot H}, \quad (65)$$

где Z – полное сопротивление системы индуктор-металл на единицу длины индуктора при $N = 1$, Ом; V – напряжение, подаваемое на индуктор; H – напряженность поля.

4.4.2. Расчет параметров индукционного прогрева

Расчет индукционного прогрева изделий и конструкций заключается в определении количества витков индуктора (N), требуемого для создания такой напряженности магнитного поля (при заданном напряжении V), при которой обеспечивалось бы снятие с единицы поверхности мощности ΔP_3 , необходимой для прогрева бетона конструкций по заданному режиму.

Прежде чем запроектировать режим индукционного прогрева каркасных конструкций, необходимо знать ряд исходных данных: 1) геометрические размеры прогреваемой конструкции, м; 2) вид, марку и расход цемента (Π), кг/м³; 3) требуемую конечную прочность; 4) удельную теплоемкость бетона (C_6), Дж/(кг·°C); 5) объемный вес бетона (γ_6) кг/м³; 6) удельную теплоемкость материала опалубки ($C_{оп}$), ее объемный вес ($\gamma_{оп}$) и толщину ($\delta_{оп}$); 7) коэффициент теплопередачи через опалубку (K_T), Вт/(м²·°C); 8) температуру наружного воздуха, ($t_{н.в}$), °C; 9) начальную температуру ($t_{6.н}$), °C; 10) скорость ветра ($V_в$), м/с; 11) схему и спецификацию арматуры.

Первый этап расчета – проектирование теплового режима. Методика проектирования режима индукционного прогрева аналогична методике проектирования режима электропрогрева конструкций средней массивности. В табл. 74 приводятся максимально допустимые скорости разогрева конструкций V_{max} индукционным методом (°C/ч).

Задаемся скоростью разогрева в зависимости от вида арматуры и опалубки, а затем рассчитываем необходимую электрическую мощность, требуемую на период разогрева (P_p) и изотермического прогрева ($P_{из}$).

Зная тип арматуры, установленной по проекту в конструкцию, определяем ее площадь. Здесь уместно подчеркнуть, что арматура в конструкциях применяется прутковая, в виде каркасов и металлического проката (швеллер, уголок, двутавр).

Изделия и конструкции могут изготавливаться в деревянной и металлической опалубках.

Таблица 74

Максимально допустимые скорости разогрева конструкций V_{\max} индукционным методом, град/ч

Вид армирования	Модуль поверхности конструкции		
	6	6–10	10
Прутковая арматура	$\frac{5}{5}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{10}{10}$
Жесткий каркас	$\frac{5}{5}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{10}{15}$
Прутковая арматура и жесткий каркас	$\frac{8}{8}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{15}{15}$

Впредь мы будем рассматривать несколько схем армирования изделий и конструкций: прутковую в неметаллической опалубке; то же в металлической опалубке, прутковую арматуру и жесткий каркас в неметаллической опалубке, то же в металлической.

Распределение вихревых токов в каждом элементе арматуры не зависит от общего количества элементов, а определяется отношением $\frac{r}{\Delta S}$ или $\frac{h}{2\Delta S}$, где r – радиус цилиндрического элемента; h – толщина плоской арматуры или стенок металлической опалубки; ΔS – глубина проникновения тока. Установлено, что H (напряженность магнитного поля), от которого зависит ΔP_a (активная мощность), мало изменяется по сечению конструкции. Можно отметить, что все элементы загрузки равнозначны по количеству тепла, выделенного с единицы поверхности. Арматурные каркасы и прутковая сталь (загрузка), расположенные только параллельно оси индуктора, попадают

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

в расчет, поэтому принцип расчета индукционного нагрева конструкции не зависит от характера армирования.

Приступим к расчету площади арматуры каркасов F_s , см² Для прутковой арматуры конструкции в неметаллической опалубке

$$F_s = \pi \cdot d \cdot h \cdot n,$$

где d – диаметр арматурных прутков, см; h – длина арматуры в зоне индуктора, см; n – количество арматурных прутков в сечении конструкции.

Для жесткого каркаса и прутковой арматуры конструкции в неметаллической опалубке

$$F_s = \pi \cdot d \cdot h \cdot n + F_k^H,$$

где F_k^H – площадь наружной поверхности каркаса, см².

Для прутковой арматуры конструкции в металлической опалубке

$$F_s = \pi \cdot d \cdot h \cdot n + F_{оп}^H + F_{оп}^B,$$

где $F_{оп}^H$ и $F_{оп}^B$ – соответственно площади наружной и внутренней поверхностей опалубки, см².

Для прутковой арматуры и жесткого каркаса конструкции в металлической опалубке

$$F_s = \pi \cdot d \cdot h \cdot n + F_{оп}^H + F_{оп}^B + F_k^H. \quad (66)$$

При индукционном прогреве изделий и конструкций в металлической опалубке тепловыделяющими считают наружную и внутреннюю поверхности опалубки.

В металлической опалубке, выполненной из полого цельного цилиндра при толщине стенок больше глубины проникновения тока в металл (в нашем случае ΔS в зависимости от H изменяется в пределах от 0,3 до 0,55 см), магнитное поле отсутствует, т. к. электромагнитная волна затухает в толще металла. В этом случае в последних двух формулах учитывают лишь наружную поверхность опалубки.

Зная мощность разогрева конструкции, изотермического прогрева, а также площадь поверхности арматуры, определяют

удельную тепловую мощность, необходимую для прогрева по заданному режиму, Вт/см²:

$$\Delta P_p = \frac{P_p}{F_s},$$

$$\Delta P_{из} = \frac{P_{из}}{F_{из}}. \quad (67)$$

Зная ΔP и $\Delta P_{из}$ из рис. 31, определяют требуемую напряженность магнитного поля H_p и $H_{из}$ и удельное поверхностное электросопротивление загрузки ρ_n^p и $\rho_n^{из}$.

Как уже было отмечено, напряженность поля обусловлена электрическими параметрами и общим сопротивлением системы индуктор – загрузка. Далее определяют составляющие общего сопротивления, приводя его к единице длины индуктора.

Общее сопротивление системы индуктор – загрузка составит, Ом:

$$Z = \sqrt{r^2 + (\omega \cdot L)^2}, \quad (68)$$

где r и $\omega \cdot L$ – соответственно активное и индуктивное сопротивления системы индуктор – загрузка. В свою очередь

$$r = r_i + r_s;$$

$$\omega \cdot L = \omega \cdot L_1 + \omega \cdot L_s, \quad (69)$$

где r_i и $\omega \cdot L_1$ – соответственно активное и индуктивное сопротивления индуктора; r_s и $\omega \cdot L_s$ – активное и индуктивное сопротивления загрузки.

Активное сопротивление цилиндрического индуктора определяется по формуле, Ом:

$$r_i = A \cdot R_i, \quad (70)$$

а индуктора прямоугольного сечения:

$$r_i = \frac{A}{\pi} (a_i + b_i), \quad (71)$$

где $A = 1,26 \cdot 10^{-5}$ Ом/см – для медного провода индуктора; $A = 1,66 \cdot 10^{-5}$ Ом/см – для алюминиевого провода индукто-

ра; R_i – радиус цилиндрического индуктора, равный $R_i = (R_k + \delta_{оп})$, где R_k – радиус конструкции, см; a_i , b_i – длины сторон сечения прямоугольного индуктора, см;

$$a_i = (a_k + \delta_{оп});$$

$$b_i = (b_k + \delta_{оп});$$

где a_k и b_k – длины сторон сечения конструкции, см.

Индуктивное сопротивление цилиндрического индуктора, Ом, равняется:

$$\omega \cdot L_i = B \cdot R_i \cdot \beta, \quad (72)$$

а индуктора прямоугольного сечения

$$\omega \cdot L_i = \frac{B}{\pi} a_i \cdot b_i \cdot \beta;$$

$$b_i = 1,24 \cdot 10^{-5}, \text{ Ом/см}^2,$$

где β – безразмерный коэффициент формы индуктора, который определяется из рис. 32 в зависимости от отношения длины (высоты) индуктора к его радиусу:

$$\frac{h}{R}, \text{ т. е. } \frac{h \cdot \pi}{a_i \cdot b_i}.$$

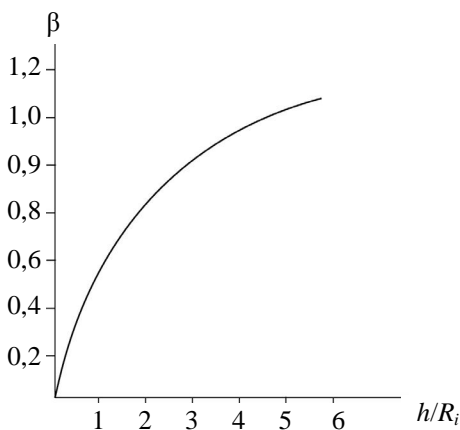


Рис. 32. Зависимость коэффициента формы β от отношения h/R_i

Активное сопротивление загрузки, Ом, определяется из формулы

$$r_s = \Pi_s \cdot \rho_n, \quad (73)$$

где Π_s – сумма параметров загрузки, см.

Для прутковой арматуры конструкции в неметаллической опалубке

$$\Pi_s = \pi \cdot d_n.$$

Для жесткого каркаса и прутковой арматуры конструкции в неметаллической опалубке

$$\Pi_s = \pi \cdot d_n + \frac{F^H}{h}. \quad (74)$$

Для прутковой арматуры конструкции в металлической опалубке

$$\Pi_s = \pi \cdot d_n + \frac{F_{\text{оп}}^H}{h} + \frac{F_{\text{оп}}^B}{h}, \quad (75)$$

а для прутковой арматуры и жесткого каркаса конструкции в металлической опалубке

$$\Pi_s = \pi \cdot d_n + \frac{F_{\text{оп}}^H}{h} + \frac{F_{\text{оп}}^B}{h} + \frac{F_k^H}{h}. \quad (76)$$

Учитывая, что $\rho_n = f(H)$, а H для разогрева и изотермического разогрева будут различными, то r_s и $\omega \cdot L_s$ тоже различны для разогрева и изотермического разогрева. Примем в дальнейшем следующие обозначения активного и индуктивного сопротивлений системы индуктор – загрузка: r_s^p , $\omega \cdot L_s^p$, $r_s^{\text{из}}$, $\omega \cdot L_s^{\text{из}}$. Поэтому и общее сопротивление этой системы в период разогрева Z_p станет иным, чем в период изотермического разогрева $Z_{\text{из}}$. Вычислим Z_p и, задаваясь произвольным напряжением V_p , определим количество витков индуктора, обеспечивающее разогрев конструкции по заданному режиму:

$$N = \frac{V_p}{Z_p \cdot H_p}. \quad (77)$$

Далее определяется сила тока (I_p) в индукторе при разогреве, А:

$$I_p = \frac{H_p \cdot h}{N}. \quad (78)$$

По этой величине подбирается сечение провода индуктора.

В том случае если параметры силы тока для прогрева не устраивают строителей, то производится перерасчет. Задаются допустимой силой тока $I_{\text{доп}}$, сохраняют неизменной величину H_p , находят число витков

$$N = \frac{H_p \cdot h}{I_{\text{доп}}} \quad (79)$$

и определяют необходимое напряжение, В:

$$V_p = N \cdot Z_p \cdot H_p; \quad V_p = \frac{H_p^2 \cdot Z_p \cdot h}{I_{\text{доп}}}. \quad (80)$$

Требуемое напряжение на период изотермического прогрева должно обеспечить напряженность поля $H_{\text{из}}$ и выделение с арматуры мощности $\Delta P_{\text{из}}$, В:

$$V_{\text{из}} = N \cdot Z_{\text{из}} \cdot H_{\text{из}}. \quad (81)$$

Как видно из выражения ($\Delta P_a = \rho_n \cdot H^2$, Вт/см²), тепловая мощность, выделяемая арматурой, прямо пропорциональна напряженности магнитного поля (см. рис. 32).

На основании анализа данных по производству бетонных работ с последующей индукционной обработкой было установлено, что напряженность магнитного поля по сечению индуктора изменяется незначительно. По высоте же индуктора напряженность изменяется весьма существенно, что приводит к значительной неравномерности температурного поля по высоте конструкции. Так, экспериментом было установлено, что напряженность в центре конструкции почти в два раза больше, чем по краям.

Для обеспечения равномерного напряжения по длине конструкции рекомендуется витки провода укладывать с различным шагом. Так, в центральной части конструкции, равной 3/5

ее высоты (длины), витки располагают с равным шагом, а по краям расстояние между ними постепенно уменьшается (рис. 33).

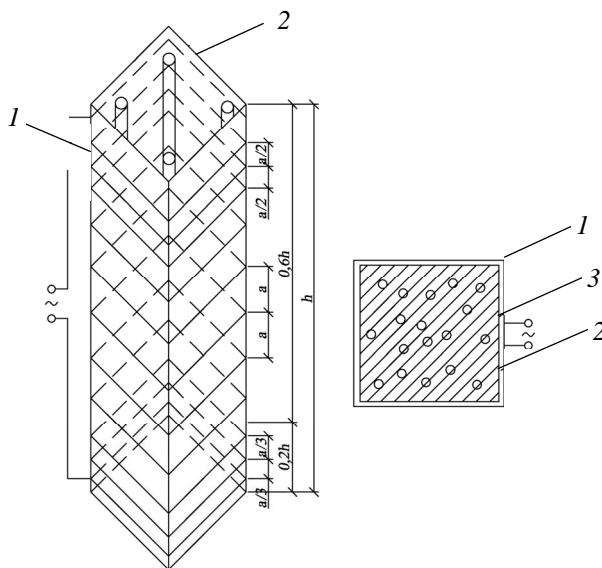


Рис. 33. Схема индукционного прогрева:

a – шаг между витками; h – высота индуктора; 1 – индуктор; 2 – стержневая арматура; 3 – металлическая опалубка

4.4.3. Примеры расчета индукционного прогрева конструкции

Рассчитать параметры индукционного прогрева монолитного ригеля сечением 30×40 см, длиной 3,2 м, армированного 8 стержнями $\varnothing 22$ мм, возводимого в деревянной опалубке толщиной 40 мм при начальной температуре бетона $+10^\circ\text{C}$, температуре наружного воздуха -20°C , скорости ветра 5 м/с. Бетон класса В22,5 приготовлен на портландцементе М500 (расход 360 кг/м^3). Требуемая относительная прочность к концу прогрева – 50 % от R_{28} . Кроме того, дано:

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

$C_6 = 0,25$ ккал/кг·°C, т. е. 1,05 кДж/(кг·°C);

$C_{\text{оп}} = 0,65$ ккал/кг·°C, т. е. 2,73 кДж/(кг·°C);

$\gamma_6 = 2400$ кг/м³; $\gamma_{\text{оп}} = 700$ кг/м³.

На основе заданных параметров устанавливаем, что средняя температура бетона в период разогрева составит:

$$t_{\text{ср}}^{\text{р}} = \frac{t_{\text{б.н}} + t_{\text{max}}}{2} = \frac{10 + 70}{2} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

в период изотермического прогрева $t_{\text{ср}}^{\text{из}} = t_{\text{max}} = +70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а в период остывания по формуле

$$\text{для } M_{\text{п}} = 8-12, \text{ м}^{-1} \quad t_{\text{ср}}^{\text{ост}} = \frac{t_{\text{б.н}}^{\text{к}}}{3}, \quad (82)$$

$$t_{\text{ср}}^{\text{ост}} = \frac{t_{\text{max}}}{3} = \frac{70}{3} = 23,3 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

тогда средневзвешенная температура всего процесса термообработки будет:

$$\begin{aligned} t_{\text{ср.взв}} &= \frac{t_{\text{ср}}^{\text{р}} \cdot \tau_{\text{р}} + t_{\text{ср}}^{\text{из}} \cdot \tau_{\text{из}} + t_{\text{ср}}^{\text{ост}} \cdot \tau_{\text{ост}}}{\tau_{\text{р}} + \tau_{\text{из}} + \tau_{\text{ост}}} = \\ &= \frac{40 \cdot 4 + 70 \cdot 4 + 23,3 \cdot 30}{4 + 4 + 30} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned} \quad (83)$$

По табл. 75 находим, что для портландцемента М500 при $t = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ максимальное тепловыделение цемента Q_{max} составит 92,5 ккал/кг, а коэффициент темпа выделения (B) – 0,07, значит

$$P_{\text{р}} = \left\{ \frac{C_6 \gamma_6 \delta_{\text{оп}}}{864} + \frac{C_{\text{оп}} \cdot \gamma_{\text{оп}} \cdot \delta_{\text{оп}} \cdot M_{\text{п}}}{864 \cdot \tau_{\text{р}}} \left(\frac{t_{\text{max}}}{2} - t_{\text{н.в}} \right) + \frac{\alpha \cdot K \cdot M_{\text{п}}}{864} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{t_{\text{max}} + t_6}{2} - t_{\text{н.в}} \right) - \frac{Q_{\text{max}} \cdot \Pi}{864(t_{\text{max}} - t_{\text{б.н}})} \left[1 - (B \cdot \tau_{\text{р}} + 1) \exp^{-B \cdot \tau_{\text{р}}} \right] \right\} V, \text{ кВт.} \quad (84)$$

(Q_{max} и B берем из табл. 76, а α и K – из табл. 76 и 77).

Таблица 75

Термохимические характеристики цементов

Вид	Марка	Q_{\max} , ккал/кг при t °C				$B, 10^{-2} \cdot r^{-1}$ при t °C			
		20	40	60	80	20	40	60	80
БТЦ	600	110	100	90	80	6	11,5	18	83
Портландцемент	500	95	90	85	80	5	10,5	15	21
- // -	400	80	75	70	65	4	10,2	14,5	20
- // -	300	70	65	63	59	3	10,0	13,8	19,5
- // -	200	60	58	54	50	2,5	9,0	13,0	19,0
ЩПЦ	300	60	58	54	50	2,0	8,0	13,0	18,5
- // -	200	60	58	53	48	1,5	6,0	12,0	18,0

Примечание. 1 ккал/(кг·°C) = 4,2 кДж/(кг·°C).

Таблица 76

Значение коэффициента α в зависимости от коэффициента K и скорости ветра

Величина K , ккал/(м ² ·ч·°C)	Безветрие	Умеренный ветер	Сильный ветер
	Скорость ветра, м/с		
	до 0,2	0,2–6	более 6
До 2,5	1	1,2	1,3
Свыше 2,5	1	1,3	1,4

Примечание. 1 ккал/(м²·ч·°C) = 1,16 Вт/(м²·°C).

$$\begin{aligned}
 P_p &= \frac{0,25 \cdot 2400 \cdot 0,4}{864} + \frac{0,65 \cdot 700 \cdot 0,04 \cdot 12}{864 \cdot 4} \left(\frac{70}{2} - (-20) \right) + \\
 &+ \frac{1,3 \cdot 3,8 \cdot 12}{864} \left(\frac{70 + 10}{2} - (-20) \right) - \frac{92 \cdot 360}{864 [70 - (-10)]} \times \\
 &\times [1 - (0,07 \cdot 4 + 1) 2,718] 0,4 = 7240 \text{ Вт.}
 \end{aligned}$$

Коэффициент K для наиболее распространенных видов ограждения

Материалы	Толщина доски, см			
	0	2,5	4,0	5,0
Деревянная опалубка	–	4,6	3,8	3,6
Опалубка + толь и войлок ($\delta = 5$ см)	–	2,1	1,78	1,56
Войлок ($\delta = 2$ см)	–	1,38	1,23	1,12
Опалубка, опилки ($\delta = 5$ см)	–	0,99	0,85	0,75
Опалубка, толь, камышит ($\delta = 5$ см)	–	0,81	0,76	0,72
Опалубка, шлаковата ($\delta = 3$ см), опалубка	–	0,09	0,075	0,06

Определяем мощность, потребную для изотермии:

$$P_{из} = \left\{ \frac{\alpha \cdot K \cdot M_{п} (t_{из} - t_{н.в.})}{864} - \frac{Ц}{864 \cdot \tau_{из}} (Q_{max} - Q_p) \times \right. \\ \left. \times [1 - (B \cdot \tau_{из} + 1) \exp^{-\beta \cdot \tau_{из}}] \right\} V, \text{ кВт.}$$

Подставляя исходные данные в формулу, получим $P_{из} = 2218$ Вт.

Определим теперь площадь поверхности металла

$$F_s = \pi \cdot 2,2 \cdot 320 \cdot 8 = 17684 \text{ см}^2,$$

где $\pi = 3,14$.

Тогда потребная удельная мощность источника тепла, которым в данном случае является прутковая арматура, на период разогрева составит:

$$\Delta P_p = \frac{7240}{17684} = 0,409 \text{ Вт/см}^3,$$

а на период изометрического прогрева

$$\Delta P_{из} = \frac{2218}{17684} = 0,125 \text{ Вт/см}^2.$$

По рис. 31 найдем:

$$H_p \approx 80 \text{ А/см}; \quad \rho_n^p = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ Ом};$$

$$H_{из} = 45 \text{ А/см}; \quad \rho_n^{из} = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Определим электрическое сопротивление системы индуктор – нагрузка. Активное сопротивление индуктора (в случае использования провода с медной жилой) будет равно:

$$\tau' = \frac{1,26}{\pi} 10^{-5} (30 + 4 + 40 + 4) = 0,31 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление индуктора

$$\omega \cdot L_i = \frac{1,24}{\pi} 10^{-5} (30 + 4)(40 + 4) \beta.$$

По рис. 32 находим, что для $\frac{h}{R_1} = \frac{320}{40 + 4} \approx 7,2$, этому числу

соответствует коэффициент $\beta = 0,98$, тогда

$$\omega \cdot L_i = \frac{1,24}{\pi} 10^{-5} (30 + 4)(40 + 4) \cdot 0,98 = 5,71 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление нагрузки, периметр которого равен

$$\Pi_s = \pi \cdot 2,2 \cdot 8 = 55,26 \text{ см},$$

составит для периода разогрева

$$r_s^p = 55,26 \cdot 6,7 \cdot 10^{-5} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

а для периода изометрического прогрева

$$r_s^{из} = 55,26 \cdot 8 \cdot 10^{-5} = 4,42 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Соответственно индуктивное сопротивление нагрузки будет на период разогрева

$$\omega \cdot L_s^p = r_s^p = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

а для периода изометрического прогрева

$$\omega \cdot L_s^{из} = r_s^{из} = 4,42 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Тогда активное сопротивление системы индуктор – нагрузка составит на период разогрева

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

$$r_p = r_i + r_s^p = (0,31 + 3,7)10^{-3} = 4,01 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

а для периода изометрического прогрева

$$r_{из} = r_i + r_s^{из} = (0,31 + 4,42)10^{-3} = 4,73 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Аналогичное индуктивное сопротивление системы индуктор – нагрузка составит на период разогрева

$$\omega \cdot L_p = \omega \cdot L_i + \omega \cdot L_s^p = 5,71 \cdot 10^{-3} + 3,7 \cdot 10^{-3} = 9,41 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

а на период изометрического прогрева

$$\omega \cdot L_{из} = \omega \cdot L_i + \omega \cdot L_s^{из} = 5,71 \cdot 10^{-3} + 4,42 \cdot 10^{-3} = 10,13 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Следовательно, общее сопротивление нашей системы в период разогрева будет равно:

$$Z_p = \sqrt{(4,01 \cdot 10^{-3})^2 + (9,41 \cdot 10^{-3})^2} = 10,22 \cdot 10^{-3},$$

а для периода изометрического прогрева

$$Z_{из} = \sqrt{(4,73 \cdot 10^{-3})^2 + (10,13 \cdot 10^{-3})^2} = 11,18 \cdot 10^{-3}.$$

Задаваясь напряжением ($V = 60 \text{ В}$), определим количество витков индуктора

$$N = \frac{60}{80 \cdot 10,22 \cdot 10^{-3}} = 74.$$

Тогда ожидаемая сила тока будет равна:

$$I_p = \frac{80 \cdot 320}{74} = \frac{25600}{74} = 345 \text{ А}.$$

Для пропуска такого тока потребуется провод с медной жилой сечением 90 мм^2 . Предположим, мы имеем провод сечением лишь 50 мм на номинальную нагрузку 215 А . Тогда, задавая $I_{доп} = 215 \text{ А}$ и сохраняя $H_p = 80 \text{ А/см}$, получим:

$$N = \frac{80 \cdot 320}{215} \approx 120.$$

Для сохранения $H_p = 80 \text{ А/см}$ при $N = 120$ витков необходимо на период разогрева подвести напряжение

$$V_p = 120 \cdot 80 \cdot 10,22 \cdot 10^{-3} \approx 100 \text{ В.}$$

В период изотермического прогрева при $N = 120$, $H_{из} = 45 \text{ А/см}$ и $Z_{из} = 11,18 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ на индуктор необходимо подать напряжение

$$V_{из} = 120 \cdot 45 \cdot 11,18 \cdot 10^{-3} = 60 \text{ В.}$$

При этом сила тока в индукторе будет:

$$I_{из} = \frac{45 \cdot 320}{120} = 120 \text{ А.}$$

4.4.4. Технология индукционного прогрева каркасных конструкций

Индукционный прогрев в основном применяется при тепловой обработке каркасных конструкций, возводимых как в металлической, так и в деревянной опалубке. Однако при одних и тех же параметрах тока количество выделяемого тепла будет больше в конструкции с металлической опалубкой. Это объясняется тем, что площадь источника тепла в металлической опалубке больше на величину, равную удвоенной площади поверхности металлической опалубки. При разогреве конструкции в металлической опалубке потребуется меньшая установочная мощность и соответственно меньшие параметры силы тока. Температурные же поля в конструкциях, изготавливаемых в металлической опалубке, более равномерные, что позволяет разогревать конструкции с более высокими скоростями.

В то же время теплотери конструкции в металлической опалубке больше, чем в деревянной, поэтому рекомендуется укрывать металлическую опалубку плотным материалом (брезентом, толем, пергамином и т. п.), поскольку это значительно сокращает теплотери. Строители должны помнить, что на теплотери в первую очередь влияет ветер. Предпочтение необходимо отдать металлической опалубке, обладающей большей оборачиваемостью и требующей меньших трудозатрат.

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

Производство работ при индукционном прогреве ведется в следующей последовательности:

1) по периметру опалубки выставляются шаблоны с пазами для размещения витков индуктора;

2) увеличивается высота индуктора в обе стороны на 10–15 см (для компенсации теплотерь в торцах);

3) укладывается выше и ниже зоны бетонирования по 3–4 витка индуктора сверх норм по расчету;

4) торцы тщательно утепляются;

5) устанавливается индуктор и подключается к питающей сети;

6) при наличии наледи производят предварительный отогрев арматуры;

7) производят укладку бетона (для повышения конечной прочности необходимо выдерживать его в течение 2–3 ч при низких положительных температурах до +5 °С. Это можно осуществить за счет периодического включения индуктора на 10–15 мин каждый час предварительного выдерживания);

8) после укладки бетона укрываются незаопалубленные поверхности;

9) по условиям техники безопасности индукционный прогрев проводится при напряжении до 127 В (при наличии надежной изоляции можно применять и напряжение порядка 220–380 В);

10) прогреваемые конструкции подключаются к сети параллельно, последовательно, звездой или треугольником;

11) после достижения бетоном расчетной температуры производят отключение (режим электротермос) или ведут дальнейший прогрев (изотермический режим);

12) изотермический прогрев достигается за счет переключения на более низкое напряжение, периодического включения и отключения или использования различного рода терморегуляторов;

13) скорость остывания бетона для конструкций с $M_n > 15 \text{ м}^{-1} = 10\text{--}15 \text{ }^\circ\text{С/ч}$, а с M_n от 6 до 10 – (6–8) °С/ч.

Режим индукционного прогрева имеет ряд преимуществ по сравнению с электропрогревом. Во-первых, продолжительность термообработки может быть практически неограниченной и диктуется лишь требуемой прочностью бетона; во-вторых, режимы термообработки более доступны, чем при электропрогреве.

4.4.5. Оборудование, материалы и приспособления для индукционного прогрева

При индукционном прогреве в качестве индуктора используются в основном гибкие провода марок ПРГ, АПРГ, сечение проводов подбирается в соответствии с силой тока. Учитывая, что шаг витков индуктора различный, рекомендуется применять инвентарные секции индукторов с разным количеством витков и различными расстояниями между ними.

Для обеспечения необходимых параметров напряжения в индукторе рекомендуется применять масляные или воздушные трансформаторы. Практически установлено, что наиболее приемлемыми трансформаторами являются масляные типа ТМОА-50, ТМО-50/10 с широкой шкалой выходного напряжения.

Режим индукционного прогрева регулируется потенциометрами ЭПД (дистанционный электронный потенциометр) и АСП (автоматический станционный потенциометр).

При индукционном прогреве коэффициент мощности цепи всегда меньше единицы и может равняться 0,4. Для компенсации реактивной мощности можно использовать конденсаторы типа КМ (частота 50 Гц).

Мощность батареи конденсатора Q определяется в следующей последовательности:

- 1) находится величина коэффициента мощности цепи

$$\cos \varphi = \frac{r}{Z},$$

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

где r – активное сопротивление индуктора; Z – общее сопротивление системы индуктор – нагрузка (в расчет принимается максимальное значение Z_p и $Z_{из}$);

2) устанавливается требуемый коэффициент мощности цепи $\cos \varphi_2$;

3) определяется активная нагрузка в цепи P_c при соединении индукторов по параллельной и последовательной схеме:

$$P_c = I \cdot V \cos \varphi_1; \quad (85)$$

при соединении звездой

$$P_c = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cos \varphi_1; \quad (86)$$

при соединении треугольником

$$P_c = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cos \varphi_1; \quad (87)$$

4) определяют необходимую мощность батареи конденсаторов

$$Q = P_c (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \quad (88)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_1$ и $\operatorname{tg} \varphi_2$ – величины тангенсов, соответствующие значениям $\cos \varphi_1$ и $\cos \varphi_2$.

4.4.6. Контроль за производством работ при индукционном прогреве

Необходимо установить жесткий контроль за измерением силы тока в индукторе в различные периоды прогрева конструкции, за температурой бетона и ее прочностью.

Необходимо особенно тщательно контролировать температурный режим индукционного прогрева, т. к. отклонение от его расчетных параметров немедленно сказывается на прочностных характеристиках бетона и сцеплении его с арматурой.

При скорости разогрева 10–15 °С/ч температура бетона должна измеряться ежечасно, а при меньшей скорости – не реже одного раза в два часа. При ручном регулировании изо-

термического прогрева измерения температур следует производить в течение первых двух часов через 30 мин, а затем через каждые 2 часа.

Температура измеряется техническим термометром, который устанавливается в заранее подготовленные скважины в теле конструкции. За температурным режимом можно следить также автоматически с помощью хромель-копелевых или медь-константановых термопар, для чего используется автоматический потенциометр (КСП-4).

Силу тока и напряжение достаточно измерять один раз в период разогрева и один – в период изотермического прогрева. Прочность можно контролировать эталонными молотками, а также показаниями контрольных образцов в установленном порядке.

4.5. Электроразогрев бетонной смеси

4.5.1. Основные положения

Метод предварительного электроразогрева бетонной смеси, предложенный С.А. Мироновым и А.С. Арбеневым, является результатом научно-исследовательской работы, направленной на расширение границ применения метода термоса для выдерживания монолитного бетона в деревянной или металлической опалубке при отрицательной температуре. Он широко используется на стройках нашей страны.

Высокие экономические показатели, полученные при применении электроразогретых бетонных смесей на строительных площадках, послужили основанием для использования их в заводских и полигонных условиях.

Бетонирование с электроразогревом смеси позволяет повысить коэффициент использования электрической энергии, сократить время набора прочности, повысить качество продукции, сократить трудозатраты, снизить себестоимость работ,

применять металлическую опалубку, укладывать бетон на мерзлое основание, транспортировать бетонную смесь на дальние расстояния, а также улучшить культуру производства.

4.5.2. Сущность метода и область применения

Сущность бетонирования с электроразогревом смеси заключается в интенсивном внесении тепла в бетонную смесь до ее уплотнения с целью ускорения твердения бетона и повышения его качества. Тепло вносится электрическим током промышленной частоты с напряжением 380 В. Смесь разогревается до температуры 70–90 °С за 10–15 мин. Уплотняется смесь в горячем состоянии и выдерживается, как правило, в неутепленной опалубке.

Внесение тепла во вторую стадию твердения цемента позволяет интенсифицировать физико-химические процессы и особенно экзотермию цемента. Виброуплотнение бетонной смеси в горячем состоянии обеспечивает более плотную структуру за счет вытеснения из нее паровоздушной среды. Дальнейшее выдерживание бетона в малотеплоемкой опалубке создает благоприятные условия для тепло- и массообменных процессов. Миграция влаги в сторону более низкой температуры одновременно переносит с собой и тепло от центра конструкции к периферии, что обеспечивает длительное время положительную температуру по ее периметру. Как показала практика, на границе бетона и металлической опалубки появляется паровоздушная прослойка, которая в определенной степени благоприятствует остыванию конструкции.

Укладка разогретых бетонных смесей в изделия и конструкции сокращает время их распалубки. Наряду с этим обеспечивается высокая технологичность работ: появляется возможность перевозить бетонную смесь на большие расстояния при отрицательной температуре, укладывать ее на мерзлое основание, более широко использовать металлическую опалуб-

ку, понижать отпускную температуру бетонной смеси, что еще больше повышает эффективность предварительного выдерживания смеси.

Горячие бетонные смеси обеспечивают 50 % от R_{28} до заморзания при возведении среднемаассивных конструкций и 70 % от R_{28} – при возведении массивных конструкций, что вполне отвечает предъявляемым требованиям.

Рациональная область бетонирования с электроразогревом смеси – среднемаассивные конструкции. Применяются разогретые бетонные смеси и при изготовлении немаассивных конструкций в целях сокращения времени подъема температуры. В массивных конструкциях разогретые бетонные смеси применяются лишь для отогрева мерзлого основания.

4.5.3. Оборудование для электроразогрева бетонной смеси

Электроразогрев бетонной смеси, основанный на преобразовании электрической энергии в тепловую, достигается путем разогрева определенной порции смеси (емкость, бадья, форма и т. п.) или непрерывного разогрева за счет движения смеси вдоль электродов.

Порционный электроразогрев бетонной смеси осуществляется в стационарно установленных или в переносных бункерах (бадьях), снабженных электродами (рис. 34). В настоящее время предложены десятки конструктивных решений этого устройства, однако порционный способ разогрева бетонной смеси затрудняет механизацию бетонных работ, особенно в заводских условиях при создании поточных технологических линий.

В последние годы был предложен целый ряд устройств для непрерывного электроразогрева бетонной смеси (одно из них изображено на рис. 35).

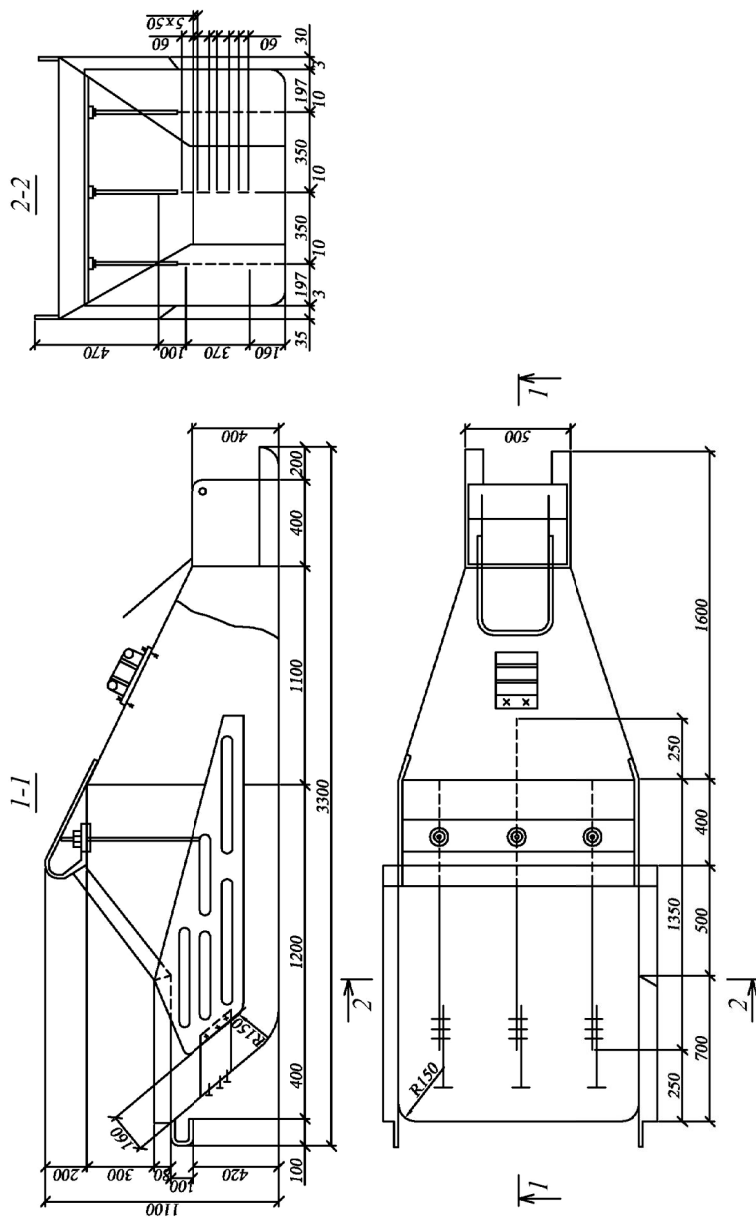


Рис. 34. Схема поворотного бункера электронагрева бетонной смеси

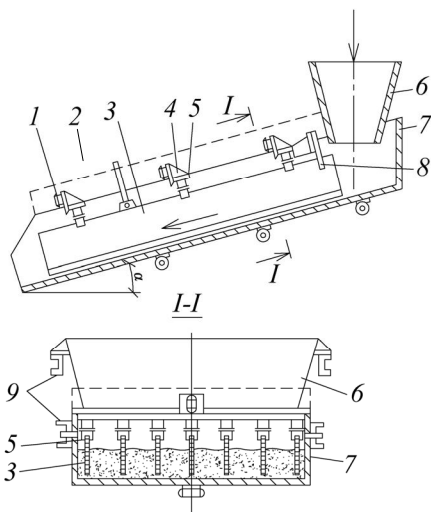


Рис. 35. Устройство для непрерывного электроразогрева бетонной смеси: 1 – вибраторы; 2 – сетка ограждения; 3 – электроды; 4 – вибрирующая рама; 5 – электроизолированные захваты; 6 – бункер; 7 – лоток; 8 – ограничитель толщины слоя смеси; 9 – опоры

Однако и это устройство не лишено недостатков. Так, к ним относятся: неравномерный разогрев смеси по сечению, высокий уровень шума, быстрое застывание бетоном электродов, рост переходного сопротивления электрод – смесь.

Для изучения и устранения указанных выше недостатков были проведены экспериментальные исследования устройств непрерывного электроразогрева бетонной смеси, выполненных в виде конвейеров, над транспортной лентой которых располагались неподвижные и подвижные электроды. Включая привод колебательного механизма в работу, электроды совершают возвратно-поступательные движения, которые и обеспечивают равномерное перемещение бетонной смеси между электродами. Равномерный разогрев бетонной смеси может быть достигнут только в том случае, когда она плотно прилегает к электродам.

На строительных объектах хорошо себя зарекомендовали устройства по электроразогреву смеси в специальных бункерах (см. рис. 34), установленных на постах электроразогрева смеси (см. рис. 37). Наибольшее распространение получили обычные поворотные бадьи, оборудованные пластинчатыми нагревателями. Пластины-электроды выполняются из 5-миллиметровой листовой стали, жестко закрепляются внутри приемной части бадьи кронштейнами и изолируются от корпуса, как правило, гетинаксовыми плитами. Электрическая сеть подводится к электроду через стальной стержень, один конец которого приварен, а другой выведен за пределы бадьи и заканчивается токоприемным устройством. Стальные стержни изолируются от корпуса бадьи гетинаксовыми или текстолитовыми втулками и резиновыми трубками.

Токоприемные устройства ограждаются кожухами при расположении их на крышке или отбойными брусками при торцевом их присоединении. На стенке бадьи приваривается два болта для нулевого провода и провода, ведущего к контуру защитного заземления.

Бадьи оборудуются вибраторами для удобства выгрузки и обеспечения равномерности распределения смеси между электродами. Пост электроразогрева смеси подключается от КТП через отдельно стоящий трансформатор (обычно 320 кВт) с самостоятельным щитом. Мощность трансформатора зависит от объема одновременно разогреваемой бетонной смеси и скорости подъема температуры.

Распределительный щит оборудован амперметром, вольтметром, фазометром (для определения коэффициента мощности), а трансформатор тока (0-494) на каждой фазе – счетчиком активной энергии (СА-ЧУ), сигнальной арматурой, светильниками и сиреной. Пульт управления сосредоточен в одном помещении. Электроэнергия подается от трансформатора к бадьям гибкими кабелями, сечение которых подбирается по расчету.

4.5.4. Расчет оборудования для электроразогрева бетонной смеси

Для обеспечения равномерности разогрева бетонной смеси необходимо правильно подобрать геометрические размеры оборудования, размеры нагревателей, расстояние между ними, а также параметры электроэнергии. С учетом равномерности загрузки фаз электрической сети число электродов определяется по формуле

$$n_3 = 3_n + 1,$$

где n – натуральный ряд чисел, соответствующий количеству параллельно подключенных групп электродов к трехфазной электрической сети; $3_n = (n_3 - 1)$ – количество отсеков.

Объем разогреваемой смеси определяется по формуле

$$V = \frac{h \cdot b \cdot l (n_3 - 1)}{10^6}, \quad (89)$$

где h – высота слоя разогреваемой бетонной смеси, см; l – расстояние между электродами, см; n_3 – количество электродов; $(n_3 - 1)$ – количество отсеков, шт., а также

$$V = 3 \cdot n \cdot V^1,$$

где V^1 – объем разогреваемой бетонной смеси, заключенный между двумя соседними электродами, м³.

На рис. 36 дана принципиальная схема подключения сопротивления в бункере при разогреве смеси. Как видно из схемы, в каждую пару проводов параллельно включено m элементов сопротивления бетонной смеси r_i , тогда сопротивление в одной из пар проводов будет равно:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_m}. \quad (90)$$

Учитывая, что расстояние между электродами l постоянно, имеем $r = r_2 = \dots = r_m$. Следовательно,

$$\frac{1}{R} = \frac{m}{r},$$

откуда

$$R = \frac{r}{m}.$$

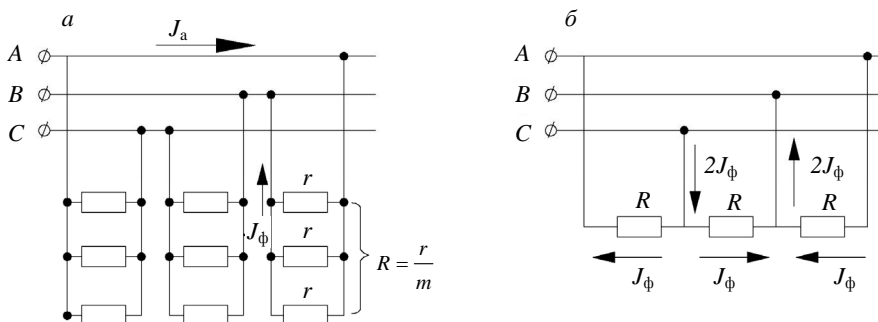


Рис. 36. Принципиальная электрическая схема подключения сопротивления (бетонных смесей) треугольником (а) и расчетная схема (б)

Линейная сила тока равна:

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}, \quad (91)$$

где

$$I_{\phi} = \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}}.$$

В нашем случае

$$I_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\phi}} = \frac{U_{\text{л}}}{\frac{r}{m}} = \frac{m \cdot U_{\text{л}}}{r},$$

или

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot m \cdot U_{\text{л}}}{r}.$$

Сопротивление элемента бетонной смеси (r) определяется по формуле

$$r = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление бетонной смеси, Ом·см; l – длина формы, см; S – площадь поперечного сечения бетонной смеси, проводящей электрический ток, см².

Удельный расход электроэнергии $W_{уд}$ будет:

$$W_{уд} = q_0 \frac{C_6 \cdot \gamma_6}{864} \Delta t = q_0 \cdot C_V \cdot \Delta t, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3, \quad (92)$$

где q_0 – коэффициент, учитывающий теплопотери в окружающую среду (1,2–1,4); C_6 – удельная теплоемкость бетонной смеси, ккал/кг·град; γ_6 – объемная масса бетонной смеси, кг/м³; Δt – разность температур, град; C_V – объемная теплоемкость смеси, кВт·ч/м³·град.

Удельная электрическая мощность $P_{уд}$ определяется по формуле

$$P_{уд} = q_0 \cdot C_V \cdot V_p, \quad (93)$$

где V_p – скорость разогрева бетонной смеси в течение 1 ч;

$$V_p = \frac{t_k - t_0}{\tau_1} 60, \text{ град}, \quad (94)$$

где τ_1 – время разогрева бетонной смеси, мин (ориентировочно 5–15 мин).

Мощность, необходимая для разогрева бетонной смеси, определяется по следующим формулам:

– по теплотехническому расчету

$$S_t = q \cdot C_V \cdot \Delta t \frac{V}{\tau_p} = W_{уд} \cdot \Pi; \quad (95)$$

– по электротехническому расчету

$$S_э = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot I_{л}}{1000}. \quad (96)$$

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

Подставляя значения R , n_3 и $I_{\text{л}}$ в последнюю формулу и умножая числитель и знаменатель правой части равенства на l , получим:

$$S_3 = \frac{V_{\text{л}}^2 \cdot V' (n_3 - 1)}{1000 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot l^2}. \quad (97)$$

Приравнявая значения $S_{\text{т}}$ и S_3 , получим:

$$q_0 \cdot C_v \cdot \Delta t \frac{V}{\tau_{\text{п}}} = \frac{U_{\text{л}}^2 \cdot V' (n_3 - 1)}{1000 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot l^2}. \quad (98)$$

Подставляя в это выражение

$$V = \frac{h \cdot b \cdot l (n_3 - 1)}{10^6},$$

получим:

$$q_0 \cdot C_v \cdot \Delta t \frac{h \cdot b \cdot l (n_3 - 1)}{10^6 \cdot \tau_{\text{п}}} = \frac{U_{\text{л}}^2 \cdot V' (n_3 - 1)}{1000 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot l^2},$$

откуда

$$\frac{W_{\text{уд}} \cdot \Delta t}{10^6 \cdot \tau_{\text{п}}} = \frac{U_{\text{л}}^2}{1000 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot l^2}.$$

Решив уравнение относительно l (расстояние между электродами), получим:

$$l = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{\frac{60 \cdot W_{\text{уд}} \cdot \rho_{\text{п}}}{1000 \cdot \tau_{\text{п}}}}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{\frac{P_{\text{уд}} \cdot \rho_{\text{п}}}{1000}}}. \quad (99)$$

Время разогрева бетонной смеси $\tau_{\text{п}}$ определяем как

$$\tau_{\text{п}} = \frac{V}{\Pi}, \quad (100)$$

где Π – производительность разогреваемого устройства, м³/ч.

Для предварительных расчетов при известном $\rho_{\text{н}}$ можно принять:

– для тяжелых бетонов $\rho_n = 0,8 \cdot \rho_n$;

– для легких бетонов $\rho_p = 0,85 \cdot \rho_n$.

Расчетная электрическая мощность S_p определяется по формуле, кВт:

$$S_p = \frac{P_{\max}}{K_{\text{к.п}} \cdot \eta \cos \varphi}, \quad (101)$$

где P_{\max} – максимальная электрическая мощность, кВт; η и $\cos \varphi$ – КПД и коэффициент мощности (их произведение можно принять равным 0,9); $K_{\text{к.п}}$ – коэффициент кратковременной перегрузки трансформатора (ориентировочно 1,3–1,5).

Максимальная электрическая мощность P_{\max} при ρ_{\min} определяется по формуле

$$P_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\max}}{10^3}, \text{ кВт}, \quad (102)$$

где I_{\max} – максимальная сила тока, А.

При соединении разогревателей установки в цепь треугольником

$$I_{\max} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}; \quad U_{\phi} = U_{\text{л}}, \quad (103)$$

где фазный ток I_{ϕ} будет:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\phi}},$$

где R_{ϕ} – сопротивление бетонной смеси, находящейся между двумя соседними электродами, Ом;

$$R_{\phi} = \rho_{\min} \frac{l}{S},$$

где l – расстояние между электродами, см.

Подставляя значение I_{\max} , I_{ϕ} , R_{ϕ} в формулу значения P_{\max} , получим:

$$P_{\max} = \frac{U_{\text{л}} \cdot V}{1000 \cdot \rho_{\min} \cdot l^2}. \quad (104)$$

Номинальная (установленная) мощность трансформатора S_n принимается из условия $S_n \geq S_p$. Максимальную силу тока можно вывести из формулы по определению максимальной электрической мощности P_{\max} , тогда

$$I_{\max} = \frac{P_{\max} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} . \quad (105)$$

Вся аппаратура для поста электроразогрева смеси должна быть подобрана с учетом максимальной силы тока. Производительность установок по электроразогреву смеси непрерывным способом будет равна:

$$\Pi = 3600 \cdot F' \cdot V , \quad (106)$$

где F' – площадь сечения потока бетонной смеси, см^2 ; V – скорость движения ленты, м/мин.

Задача. Рассчитать параметры установки по электроразогреву бетонной смеси при следующих исходных данных: сменная производительность 80 м^3 ; длительность смены $T_{\text{см}} = 8,0 \text{ ч}$; начальная температура бетонной смеси $t_n = +10 \text{ }^\circ\text{C}$; конечная температура разогрева бетонной смеси $t_k = +80 \text{ }^\circ\text{C}$; время разогрева бетонной смеси $\tau_p = 10 \text{ мин}$; начальное удельное электрическое сопротивление бетонной смеси $\rho_n = 700 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; минимальное $\rho_{\min} = 409 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; плотность смеси $\gamma_b = 2400 \text{ кг/м}^3$; удельная теплоемкость $C = 0,25 \text{ ккал/кг}\cdot\text{град}$; напряжение в сети $U = 380 \text{ В}$.

Решение

1. Определяем удельный расход электроэнергии с учетом теплотер в окружающую среду

$$W_{\text{уд}} = q_0 \frac{C \cdot \gamma_b}{864} \Delta t = 1,3 \frac{0,25 \cdot 2400 \cdot 70}{864} = 63 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^3 .$$

2. Находим расчетное значение удельного электрического сопротивления

$$\rho_p = \frac{\rho_n + \rho_{\min}}{2} = \frac{700 + 490}{2} = 595 \text{ Ом}\cdot\text{см} .$$

3. Вычислим расстояние между электродами

$$l = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{\frac{60 \cdot W_{\text{уд}} \cdot \rho_{\text{р}}}{1000 \cdot \tau_{\text{р}}}}} = \frac{380}{\sqrt{\frac{60 \cdot 63 \cdot 595}{1000 \cdot 10}}} = 25 \text{ см}.$$

4. Определяем объем разогреваемой смеси

$$V = \pi \cdot \tau_{\text{р}} = \frac{80 \cdot 10}{8 \cdot 60} = 1,66 \text{ м}^3.$$

5. Рассчитаем максимальную электрическую мощность

$$P_{\text{max}} = \frac{U_{\text{л}}^2 \cdot V}{1000 \cdot \rho_{\text{min}} \cdot l^2} = \frac{380^2 \cdot 1,66 \cdot 10^6}{1000 \cdot 490 \cdot 25^2} = 782 \text{ кВт}.$$

6. Определяем количество электродов (δ электрода = 1 см)

$$n_3 = 3 \cdot n + 1 = 3 \cdot 2 + 1 = 7.$$

Тогда количество отсеков установки будет:

$$3 \cdot n = n_3 - 1 = 7 - 1 = 6.$$

7. Найдём ширину установки (бункера)

$$b = (n_3 - 1)l + n_3 \cdot \delta = 6 \cdot 25 + 7 \cdot 1 = 157 \text{ см}.$$

8. Определим активную поверхность электрода F

$$F = \frac{V_6 \cdot 10^6}{b} = \frac{1,66 \cdot 10^6}{157} = 10573 \text{ см}^2.$$

9. Рассчитаем длину электрода (приняв высоту бады $h = 80 \text{ см}$)

$$l = \frac{F}{h} = \frac{10573}{80} = 132 \text{ см}.$$

10. Определим максимальный линейный ток

$$I_{\text{max}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{10^3 \cdot 782}{1,73 \cdot 380} = 1190 \text{ А}.$$

11. Найдём расчетную электрическую мощность

$$S_{\text{р}} = \frac{P_{\text{max}}}{K_{\text{к.п}} \eta \cos \varphi} = \frac{782}{1,5 \cdot 0,9} = 580 \text{ кВт}.$$

4.5.5. Технология электроразогрева бетонной смеси в бадьях

Для разогрева бетонной смеси на строительных объектах оборудуются специальные посты (рис. 37) в виде площадок, огороженных деревянным или металлическим сетчатым забором высотой не менее 1,5 м, которые предварительно планируются. Размеры поста определяются количеством установленных бадей и типом транспортных средств, доставляющих бетонную смесь на строительную площадку. Бадьи устанавливаются на диэлектрический настил, как правило, выполненный из дерева. Пост также должен быть оборудован пультом управления по разогреву смеси, контуром заземления, светильниками, концевыми выключателями (блокировка), заземляющим устройством, вибраторами и воротами.

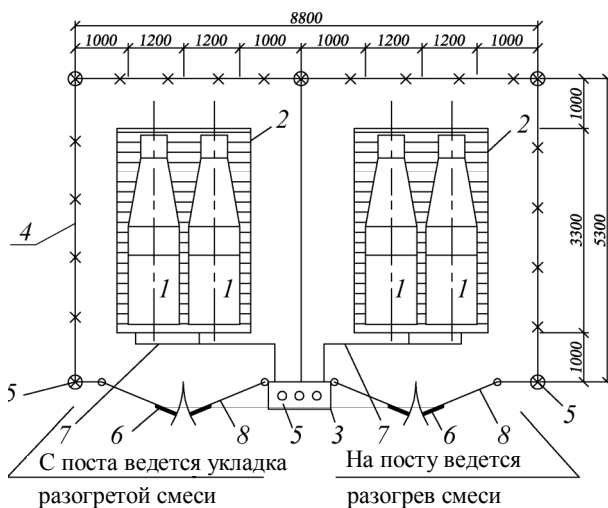


Рис. 37. Пост электроразогрева бетонной смеси в поворотных бункерах:
1 – бункер; 2 – настил; 3 – пульт управления; 4 – ограждение; 5 – сигнальные лампы; 6 – концевой выключатель; 7 – силовой кабель; 8 – ворота

Электроразогрев бетонной смеси в бадьях выполняется в следующей последовательности:

- 1) бадьи загружают бетонной смесью из самосвалов с задней или боковой разгрузкой;
- 2) разравнивают бетонную смесь в бадьях;
- 3) подсоединяют провода защитного заземления, нулевой провод, а затем подключают электроды;
- 4) в бетонную смесь устанавливают термодатчики;
- 5) проверяют надежность контактов, обслуживающий персонал выходит за пределы ограждения и на электроды подается напряжение;
- 6) при достижении бетонной смесью заданной температуры ток выключается, затем последовательно отключаются электроды, нулевой провод и провод защитного заземления;
- 7) бункер с разогретой смесью подается к месту укладки;
- 8) после выгрузки смеси и тщательной очистки бадьи она ставится на прежнее место.

Температура разогрева смеси зависит от вида цемента (смесь на БТЦ разогревается до 60 °С, на портландцементе – до 70 °С, на шлакопортландцементе – до 80 °С). Время разогрева обусловлено имеющимися мощностями.

4.5.6. Основные требования к способу укладки разогретой смеси

Главные требования к технологической схеме по производству бетонных работ из разогретой смеси заключаются в следующем.

1. Оборудование для разогрева, транспортирования и укладки горячей смеси должно удовлетворять требованиям по снижению тепло- и массопотерь, для чего необходимо предусмотреть: а) укрытие поверхности бетонной смеси в процессе разогрева; б) утепление бункера; в) минимальное расстояние

между постом разогрева смеси и местом ее укладки в изделия и конструкции; г) укладку смеси большими порциями по объему и высоте; д) сокращение времени формования до минимума; е) выгрузку бетонной смеси из бункера большим сечением через горловину бадьи при минимальном расстоянии от затвора до опалубки изделия; ж) в процессе формования изделий и конструкций устраивать заградительные экраны от ветра; з) после окончания укладки немедленно укрывать незаопалубленную поверхность бетона.

2. Механизмы и оборудование для укладки разогретых бетонных смесей должны обеспечивать минимальное время на выполнение этих операций.

3. Необходимо избегать перегрузок разогретой смеси.

4.5.7. Выдерживание конструкции

Ответственным этапом при изготовлении конструкций с электроразогревом смеси является выдерживание бетона в процессе набора в нем прочности. Следует уделять особое внимание режиму остывания бетона. В случае резкого понижения температуры наружного воздуха и возникновения опасности более интенсивного охлаждения бетона, чем это предусмотрено расчетом, конструкцию необходимо дополнительно утеплить (дополнительное утепление должно быть подтверждено расчетом). Если и эти меры не обеспечат равномерного остывания изделий и конструкций, то нужно прибегнуть к периферийному обогреву.

На основании экспериментальных данных, полученных в НИИЖБе, МГСУ, ЧПИ, НГАСУ, ТГАСУ, было установлено, что конструкции с M_n до 4 м^{-1} можно бетонировать горячими смесями без утепления опалубки при температуре наружного воздуха до -40°C с обязательным укрытием конструкций.

При возведении конструкций с M_n от 4 до 8 м^{-1} в качестве утеплителя может быть использована сухая деревянная опалуб-

ка толщиной не менее 40 мм с укрытием неопалубленной поверхности слоем утеплителя. При $M_{\text{п}} = 8 \text{ м}^{-1}$ рекомендуется дополнительно утеплить опалубку и открытые поверхности, а в случае необходимости – обогревать в целом конструкцию.

Однако в любом случае надо вести контроль за качеством производства бетонных работ с учетом влияния факторов окружающей среды.

4.5.8. Определение времени остывания и набора прочности бетона

Для расчета времени остывания изделий и конструкций, забетонированных из разогретых смесей, прежде всего, определяем их $M_{\text{п}}$:

$$M_{\text{п}} = \frac{\sum S_{\text{ост}}}{V_{\text{к}}},$$

где $M_{\text{п}}$ – модуль поверхности конструкции, м^{-1} ; $\sum S_{\text{ост}}$ – сумма остываемых площадей опалубки, м^2 ; $V_{\text{к}}$ – объем конструкции, м^3 .

Опалубка, соприкасающаяся с талым грунтом или теплым воздухом, в площадь остывания не входит.

Зная конфигурацию конструкции, определяют ее вид (шар, квадрат, призма, пластина и т. д.), чтобы правильно выбрать коэффициент теплоотдачи. Дело в том, что при одном и том же $M_{\text{п}}$, но разной конфигурации конструкции остывание происходит не одинаково.

Прочность бетона до замерзания определяется по формуле

$$R_{\text{б}} = (R_0 + \Delta R \cdot t_{\text{ук}}) \sqrt[3]{K_{\text{тв}} \cdot T_{\text{тв}}}, \quad (107)$$

где $R_{\text{б}}$ – прочность, бетона до замерзания в процентах от марочной; R_0 – суточная прочность бетона при 0°C , %; ΔR – прирост суточной прочности бетона при подъеме температур на один градус, %; $t_{\text{ук}}$ – температура укладки бетона; $K_{\text{тв}}$ – коэффициент в зависимости от времени твердения (для времени, обеспечи-

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

вающего 80 % от R_{28} при $K_{\text{ТВ}} = 1$); $T_{\text{ТВ}}$ – время твердения бетона до 0 °С.

Суточная прочность бетона определяется в каждом случае в зависимости от марки цемента, состава бетона и факторов окружающей среды. Наиболее распространенная методика по определению суточной прочности сводится к следующему: бетонные образцы различного состава выдерживаются в течение суток при трех различных температурах. Данные по испытанию образцов-кубиков после суточного выдерживания наносятся на график. Проведя прямую через три точки до пересечения с осью ординат, получают величину суточной прочности при 0 °С, а тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс показывает прирост прочности бетона на каждый градус повышения температуры.

Ориентировочные данные суточной прочности бетона приведены в табл. 78.

Таблица 78

Данные суточной прочности бетона

Вид цемента	Суточная прочность бетона при 0 °С, % / сут	Прирост суточной прочности от температуры, % (сут·°С)
ЩЩЩ	5	0,7
ЩЩ	10	0,75
БЩЩ	15	0,8

Примечание. Данные таблицы приведены для бетона класса В15 (ОК = 3–6 см) без химдобавок. При добавлении 0,5 и 2 % хлористого кальция в бетонную смесь суточная прочность увеличивается соответственно на 10 и 20 %.

Температура разогрева бетонной смеси $t_{б,р}$ и температура бетона после укладки ($t_{б,ук}$) определяются по следующим эмпирическим формулам:

$$t_{б,р} = 10 + K_{\text{оп}} \cdot M_{\text{п}} - t_{\text{в}}, \quad (108)$$

где $t_{б,р}$ – температура разогрева смеси, °С; 10 – минимальная температура разогрева смеси, °С; $M_{\text{п}}$ – модуль поверхности конструкции, м^{-1} ; $K_{\text{оп}}$ – коэффициент, учитывающий вид опа-

лубки (для дерева 3,5, для металла 5); t_b – температура наружного воздуха, °С.

$$t_{ук} = t_p - (t_p - t_b) \left(0,001 \frac{T_{тр}}{h_{тр}} + 0,002 \frac{T_{ук}}{h_{ук}} + K_{оп} \cdot M_{п} + 0,0002 \cdot m_a + \frac{K_{ос}}{h_k} \right), \quad (109)$$

где $t_{ук}$ – температура бетона сразу после укладки, °С; t_p – температура разогрева смеси, °С; $T_{тр}$ – продолжительность транспортирования разогретой смеси, мин; $h_{тр}$ – высота транспортируемого слоя, м; t_b – температура наружного воздуха, °С; $T_{ук}$ – время укладки, мин; $h_{ук}$ – высота укладываемого слоя (рекомендуется максимальной в среднем 0,4 м); $K_{ок}$ – коэффициент, учитывающий аккумуляцию тепла опалубкой; m_a – насыщенность конструкций арматурой, кг/м³; $K_{ос}$ – коэффициент, учитывающий теплопоглощение мерзлого основания; h_k – превышение конструкции над основанием, м.

Коэффициент, учитывающий аккумуляцию тепла опалубкой, принимается: для металла $\delta = 2$ мм – 0,005, для дерева $\delta = 30$ мм – 0,002.

В табл. 79 приведены коэффициенты, учитывающие вид замороженного основания.

Таблица 79

Коэффициенты основания

Вид основания	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Коэффициенты для опалубок, °С·м/с	
			деревянной (30 мм)	металлической (2 мм)
Песок сухой	1700	2	0,05	0,025
Песок влажный	1800	8	0,25	0,125
Супесь	1800	15	0,25	0,125
Суглинок	1800	15	0,20	0,10
Глина	2000	20	0,30	0,15
Бетон	2400	5	0,20	0,1

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

Время остывания бетона до 0 °С находится из уравнения теплового баланса

$$T_{\text{тв}} = \frac{C_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} (t_{\text{б.н}} - t_{\text{б.к}}) + \Xi \cdot \Pi}{3,6 \cdot K_{\text{т}} \cdot M_{\text{п}} (t_{\text{б.ср}} - t_{\text{в}})}, \quad (110)$$

где $C_{\text{б}}$ – теплоемкость тяжелого бетона, равная 0,25 ккал/(кг·°С), т. е. 1,05 кДж/(кг·°С); $\gamma_{\text{б}}$ – плотность тяжелого бетона, равная 2400 кг/м³; Ξ – величина экзотермического тепла, выделившегося за время остывания $\tau_{\text{ост}}$:

$$\text{при} \quad t_{\text{ср}}^{\text{ост}} = \frac{t_{\text{б.н}} + 5}{2} \text{ } ^\circ\text{C} \quad M_{\text{п}} \leq 3,$$

$$\text{при} \quad t_{\text{ср}}^{\text{ост}} = \frac{t_{\text{б.н}}}{2} \text{ } ^\circ\text{C} \quad M_{\text{п}} = 3 - 8,$$

$$\text{при} \quad t_{\text{ср}}^{\text{ост}} = \frac{t_{\text{б.н}}}{3} \text{ } ^\circ\text{C} \quad M_{\text{п}} = 8 - 12,$$

$$\Xi = Q_{\text{э}}^{\text{max}} \frac{B \cdot \tau_{\text{ост}}}{1 + B \cdot \tau_{\text{ост}}}, \quad (111)$$

где значение $\tau_{\text{ост}}$ ориентировочно задается, а величины $Q_{\text{э}}^{\text{max}}$ и B находятся по табл. 75; $m_{\text{ц}}$ – расход цемента, кг/м³; $K_{\text{т}}$ – коэффициент теплопередачи опалубки; $M_{\text{п}}$ – модуль поверхности конструкции, м⁻¹; $t_{\text{б.н}}$ – температура бетона к началу остывания конструкции с учетом потерь тепла, расходуемых на нагрев арматуры и опалубки; $t_{\text{ср}}^{\text{ост}}$ – средняя температура в процессе остывания бетона, °С; $t_{\text{в}}$ – температура наружного воздуха, °С; $t_{\text{б.н}}$ – температура бетона к началу остывания конструкций с учетом потерь тепла, расходуемого на нагрев арматуры и опалубки,

$$t_{\text{б.н}} = \frac{C_1 \cdot \gamma_1 \cdot V_{\text{б}} \cdot t_{\text{б.ук}} - C_2 \cdot P_2 \cdot V_{\text{а}} \cdot t_{\text{в}} - Q_{\text{оп}}}{C_1 \cdot \gamma_1 \cdot V_{\text{б}} - C_2 \cdot P_2 \cdot V_{\text{а}} + \sum C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \gamma_i}, \quad (112)$$

где C_1 и C_2 – соответственно теплоемкость бетона и металла; γ_1 и P_2 – плотность бетона и всей арматуры; $V_{\text{б}}$ и $V_{\text{а}}$ – объем бетона и арматуры; $C_i, F_i, \delta_i, \gamma_i$ – соответственно удельная тепло-

емкость, площадь, толщина и плотность материала опалубки;
 $Q_{\text{оп}}$ – тепло, необходимое на нагрев опалубки:

$$Q_{\text{оп}} = (t_{\text{оп}}^{\text{п}} - t_{\text{в}}) \sum_{i=1}^n C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \gamma_i. \quad (113)$$

Здесь $t_{\text{оп}}^{\text{п}}$ – средняя температура нагрева опалубки в начальный момент остывания конструкции,

$$t_{\text{оп}}^{\text{п}} = \frac{t_{\text{б.н}} + t_{\text{оп}}^{\text{н}}}{2}. \quad (114)$$

Коэффициент теплопередачи опалубки определяется выражением

$$K_{\text{т}} = \frac{1}{\alpha + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}}, \quad (115)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C); $\delta_1, \delta_2, \delta_n$ – толщины опалубки и утеплителя, м; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – теплопроводность, Вт/(м·°C); α и $K_{\text{т}}$ – можно ориентировочно взять из табл. 45 и 46, а $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – из табл. 58.

4.5.9. Техника безопасности

Учитывая, что разогрев бетонной смеси ведется при высоком напряжении (220–380 В), необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1) пост для электроразогрева бетонной смеси должен быть огражден забором со всех сторон, на ограждении вывешены предупреждающие знаки;

2) на воротах и калитке должны быть установлены концевые выключатели и световое табло;

3) при работе в ночное время площадка должна быть хорошо освещена;

4) рабочие, обслуживающие пост электроразогрева бетонной смеси, должны иметь допуск на право производства работ,

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

а обслуживающий установку электрик должен иметь III квалификационную группу;

5) обслуживающий персонал должен обеспечиваться диэлектрическими галошами и перчатками, имеющими клеймо о проверке и годности их к эксплуатации;

6) щит управления и бады необходимо заземлять присоединением к нулевому проводу;

7) корпуса бадей должны быть дополнительно заземлены согласно ГОСТ на ПУЭ;

8) необходимо систематически проверять визуально и мегомметром сопротивление изоляции питающих кабелей;

9) подача и снятие напряжения должны выполняться с применением защитных средств лицом, имеющим допуск на право производства работ;

10) во время ремонта или перерыва в работе установки напряжение необходимо снимать со щита управления на КТП;

11) за безопасное состояние установки несет ответственность лицо, назначенное приказом по подразделению.

4.6. Прогрев бетона греющими изолированными проводами

4.6.1. Сущность метода и область применения

Среди методов обогрева бетона греющий провод занимает особое положение. Если при всех обогревных методах тепло от источника тепловыделения подводится к забетонированной конструкции извне и осуществляет нагрев с поверхности с постепенным распространением тепла во внутренние слои бетона, то прогрев греющим проводом происходит кондуктивно изнутри конструкции, поскольку источник тепловыделения – провод – находится непосредственно в ней. В этом большое преимущество метода, поскольку все тепло, выделяемое нагревателем, передается бетону.

Для прогрева бетона в конструкциях применяются специально выпускаемые для этой цели нагревательные провода марки ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ, ПНВСВ и др. с жилой из стальной проволоки в пластиковой изоляции. Могут также использоваться аналогичные по конструкции трансляционные провода марок ПВЖ, ППЖ, ПРСП или какие-либо другие нагревательные провода, выпускаемые промышленностью. Технические характеристики нагревательных проводов приведены в табл. 80. Перед применением следует проверить сопротивление проводов, чтобы определить, на отрезки какой длины их разрезать для обеспечения требуемой температуры прогрева (необходимой мощности).

Наиболее рационально применять для токонесущей жилы нагревательных проводов стальную оцинкованную или неоцинкованную проволоку диаметром 1–3 мм. Для стальной жилы берут обычную товарную проволоку из Ст10кп. Стальная оцинкованная проволока должна удовлетворять требованиям ГОСТ 1526–81 и ГОСТ 1668–73*. Для нагревательных проводов повышенного качества (марки КНРПВ) применяют углеродистую (канатную) стальную проволоку (ГОСТ 7372–79*) с большим удельным сопротивлением.

Для обогрева незначительных объемов бетона (стыки, местные заделки и т. п.), где требуются нагреватели небольшой длины, следует применять проволоку из материалов с высоким удельным омическим сопротивлением: нихром, константан и др. (см. табл. 80).

В качестве греющих изолированных проводов могут использоваться неметаллические полимерные провода. Уникальность и новизна таких проводов состоит в том, что используемая в них токопроводящая жила на композиционной основе, состоящая из сотен тончайших полимерно-композиционных волокон, обработанных по специальной технологии, обеспечивает более интенсивный нагрев провода в сравнении с металлическими аналогами.

Таблица 80

Технические характеристики нагревательных проводов и кабелей
в пластмассовой изоляции со стальной оцинкованной жилой

Марка	ТУ или ГОСТ на изготов- ление	Колоче- ство и диаметр жилы, мм	Матери- ал жилы	Материал изоляции	Диа- метр прово- да, мм	Максималь- ная рабочая температу- ра, °С	Электриче- ское сопро- тивление при 20 °С, Ом/м	Завод изгото- витель
Нагревательные провода								
ПОСХВ	ТУ 16- 505.524- 73	1×1,1	Сталь	Поливинилхлорид- ный пластикат (ПВХ)	2,9	80	0,145	«Молдсель- хозтехника» г. Котовск
		1×1,1	Сталь	Полиэтилен	3,4	60	0,145	
		1×1,4	Сталь	Модифицированный полиэтилен	2,3	105	0,100	
ПНВСВ	ТУ 16- 705.526- 83	1×1,2	Сталь	ПВХ, лавсановая или фторопластовая лента, металличе- ская оплетка, трубка ПВХ	5,8	80	0,140	Кабельный завод «Урал- кабель» (г. Екатеринбург)
ПНСВ	ТУ 16- 16.К71- 013-88	1×1,2	Сталь	ПВХ или полипро- пилен	2,7	80	0,150	
		1×2,0			3,6	80	0,025	
		1×3,0			5,4	80	0,005	
Нагревательные кабели								
КНРПВ	ТУ 16- 705.141- 80	1×(7×0,25)	Сталь	Кремнийорганиче- ская резина, самоза- тухающий полиэти- лен, трубка ПВХ	5,55	80	0,53	Кабельный завод «Элек- тропровод» (Москва)
КНРПЭВ		1×(7×0,25)	Сталь	То же, с экрани- рующей оплеткой	6,35	80	0,53	

Окончание табл. 80

Марка	ТУ или ГОСТ на изготов- ление	Количе- ство и диаметр жилы, мм	Матери- ал жилы	Материал изоляции	Диаме- тр прово- да, мм	Максималь- ная рабочая температу- ра, °С	Электриче- ское сопро- тивление при 20 °С, Ом/м	Завод изгото- витель
ПНСФЭн	ТУ 16.К71- 013-88	1×1,2	Сталь	Фторпластовая пленка, асбестовая ровница, экрани- рующая оплетка из стальной проволоки	4,0	180-200	0,14	Кабельный завод «Урал- кабель» (г. Екатеринбург)
ПННКЭн	ТУ 16.К71- 013-88	1×(3×0,45) 1×(7×0,45)	Нихром Нихром	Кремнийорганиче- ская резина, фторо- пластовая лента, оплетка из медной проволоки	4,15 4,55	180 180	2,5 1,0	Кабельный завод «Урал- кабель» (г. Екатерин- бург)
Трансляционные провода								
ПВЖ	ГОСТ 10254-75	1×1,4	Сталь	Поливинилловый пластикат	3,0	60	0,100	Кабельный завод «Кир- скабель» (г. Кире)
ППЖ		1×1,8	Сталь	Модифицированный полиэтилен	3,4	70	0,070	
ПРСП		1×2,0	Сталь		4,0	70	0,048	
		1×3,0	Сталь		5,4		0,021	
		1×4,0	Сталь		6,4		0,012	

Примечание. Значение электрического сопротивления токопроводящей жилы из стальной оцинкованной проволоки может колебаться в пределах $\pm 20\%$, из нихромовой проволоки – $\pm 5\%$.

Принцип работы неметаллических полимерных проводов заключается в сгруппированности этих волокон в пучок, в котором при прохождении тока они помимо частного нагрева способствуют внутреннему нагреву волокон в пучке друг от друга, создавая более высокую концентрацию тепловой энергии. Все это в итоге обеспечивает снижение расхода энергии на обогрев.

Токопроводящая жила из полимерного композита закатывается в специальное полимерное покрытие с термостойкостью до 130 °С, превращаясь по форме в электропровод диаметром от 3 до 6 мм, с электросопротивлением от 20 до 120 Ом/м и электрической мощностью от 8,0 до 20 Вт/м.

Провод обладает высокой гибкостью и коррозионной стойкостью. Вес от 10 до 60 г/пог. м, может эксплуатироваться при температуре до –50 °С, подключаться к переменному или постоянному току напряжением от 12 до 220 В.

Электроподключение греющих проводов при открытом использовании следует осуществлять через понижающие трансформаторы со ступенями пониженного напряжения от 40 до 127 В, что позволяет регулировать тепловую мощность проводов при изменении температуры среды.

Учитывая надежность изоляционного покрытия проводов, допускается при использовании стандартных устройств электроподключения и автоматизации обогрева применение напряжений 110–220 В. В открытом виде полимерный провод эффективно может применяться для прогрева бетона в тонкостенных конструкциях перегородок, стяжек в кровлях и полах.

Греющие провода с любой жилой подключаются к электрической сети с напряжением до 220 В и работают как нагреватели сопротивления. Для питания нагревательных проводов используются специальные понижающие масляные трансформаторы типа ТМОА-50, трансформаторные подстанции на их базе (типа КТП-63-ОБ) или автоматизированные трансформаторные подстанции типа КТПО 80-86/VI на базе ТМТО-80/0,38-VI,

имеющие несколько ступеней понижающего напряжения, что дает возможность регулировать в широком диапазоне тепловую мощность проводов при изменении температуры наружного воздуха. Технические характеристики понижающих трансформаторов, применяемых для электропитания нагревательных проводов, приведены в табл. 81.

Таблица 81

**Технические характеристики
понижающих трансформаторов**

Марка и тип трансформатора	Мощность, кВт	Напряжение, В		Сила тока, А		Масса, кг	Габаритные размеры, мм
		верхнее	нижнее	верхняя	нижняя		
ТМОА-50. Масляный трехфазный	50	380	121; 103; 85; 70; 60; 49	76; 65; 53	239; 413	530	1020×804× ×1308
КТП-63-0Б. Трансформаторная подстанция на базе масляного трехфазного трансформатора ТМОБ-63	63	380	121; 103; 85; 70; 60; 49	95,8; 81,6; 69,3	301; 520	900	1300×1200× ×1600
КТПТО-80-86/VI. Автоматизированная трансформаторная подстанция на базе масляного трехфазного трехобмоточного трансформатора ТМТО-80/0,38-VI	80	380	55; 65; 75; 85; 95		520; 471	725	1015×1400× ×1470

Греющий провод очень удобен для прогрева бетона в любых конструкциях независимо от характера их армирования и конфигурации. Он нашел широкое применение при возведе-

нии монолитных многоэтажных жилых зданий, в которых прогреваются перекрытия, колонны и др. конструкции.

Он начал применяться для обогрева бетона стыков, швов и заделок; при отогреве ранее забетонированных конструкций на контакте с вновь укладываемым бетоном; при обогреве раствора в заинъецированных каналообразователях после натяжения арматурных канатов. Обогрев греющими проводами монолитных конструкций и омоноличиваемых стыков и швов может быть совмещен с другими способами обеспечения требуемой температуры твердения бетона: термоактивные опалубки, термоактивные гибкие покрытия, воздушный прогрев тепловыми генераторами.

Накопленный опыт позволяет высоко оценить прогрев бетона греющими проводами. При правильном их применении представляется возможным получать высококачественные бетонные и железобетонные конструкции, возводимые в любых температурных условиях наружного воздуха.

4.6.2. Электрический расчет греющих проводов и кабелей

Электрический расчет сводится к определению рабочего напряжения при минимально допустимой длине проволочного нагревателя и максимально допускаемой на него мощности.

Выбор длины проволочного нагревателя является не только технической, но и экономической задачей, т. к. завышение длины сверх оптимальной приводит к перерасходу провода, более плотной навивке в монолитной конструкции, к увеличению трудоемкости работ, а в ряде случаев затрудняет укладку бетонной смеси. Уменьшение длины провода приводит к его перегреву, возникновению опасных деструктивных явлений из-за больших температурных перепадов, местному пересушиванию бетона и в конечном результате к снижению его качественных характеристик.

Основным расчетным параметром при определении длины проволочного нагревателя является линейная (погонная) электрическая нагрузка, приходящаяся на единицу его длины. Для условий теплоотдачи в твердеющем бетоне оптимальная погонная нагрузка (p) на проволочные нагреватели определена экспериментально и составляет: для армированных монолитных конструкций – 30–35 Вт/м, для неармированных конструкций – 35–40 Вт/м.

Максимальная погонная нагрузка на провод не должна превышать 45–50 Вт/м, т. к. при большей величине нагрузки температура его превышает 100 °С. Это может привести к структурным нарушениям и снижению качественных характеристик бетона. Такую нагрузку в течение всей продолжительности электротермообработки монолитного бетона выдерживают нагревательные провода с поливинилхлоридной и другими видами теплостойкой изоляции в отличие от проводов с полиэтиленовой изоляцией, у которых ее повреждение из-за перегрева приводит к короткому электрическому замыканию токонесущей жилы на стальную арматуру и закладные детали.

Длину проволочных электронагревателей (l) определяют:

$$l = \sqrt{\frac{U^2 \cdot S}{p \cdot \rho_t}}, \quad (116)$$

где U – рабочее напряжение питания, В; S – площадь сечения токонесущей жилы, мм²; ρ_t – удельное сопротивление жилы при рабочей температуре, Ом·мм /м; p – оптимальная погонная нагрузка на провод, Вт/м; $\frac{\rho_t}{S} = R_t$ – сопротивление жилы, приведенное на погонный метр нагревателя, Ом/м.

Учитывая, что удельное сопротивление нагревательных проводов различных марок может значительно меняться в зависимости от химического состава и качества токопроводящих жил, длину нагревателя рекомендуется рассчитывать в каждом

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

отдельном случае, уточнив предварительно величину удельного сопротивления.

Сопротивление токонесущей жилы провода при нагреве увеличивается. Погонное сопротивление нагретой жилы (R_t) в зависимости от рабочей температуры (t) определяют по формуле

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t), \quad (117)$$

где R_0 – сопротивление жилы при нормальной (20 °C) температуре, Ом; α – температурный коэффициент сопротивления, равный для стальной жилы $0,0046 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (табл. 82).

Сопротивление стальных токонесущих жил постоянно-му току при нормальной температуре (R_0) нагревательных проводов марки ПОСХВ, ПОСХП, а также применительно к ним трансляционных проводов марок ПВЖ, ППЖ и др. (ГОСТ 1526–81*, ГОСТ 1668–73*) может быть определено по табл. 83.

Таблица 82

Технические характеристики основных проводниковых материалов

Наименование металла или сплава (химический состав)	Плотность, 10^3 кг/м^3	Удельное электрическое сопротивление, Ом · мм ² /м	Температурный коэффициент сопротивления $10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Максимальная рабочая температура, °C
Алюминий (проволока техническая)	2,70	0,028	43,0	400
Бронза фосфористая техническая	8,90	0,080	40,0	500
Железо (проволока)	7,88	0,152	46,0	500
Латунь	8,65	0,067	30,0	500
Медь красная (проволока электролитическая)	8,93	0,018	40,0	500
Никель	8,90	0,100	50,0	800

Наименование металла или сплава (химический состав)	Плотность, 10^3 кг/м^3	Удельное электрическое сопротивление, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	Температурный коэффициент сопротивления $10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	Максимальная рабочая температура, $^\circ\text{C}$
Сталь нержавеющая	7,89	0,103	58,0	800
Цинк	7,15	0,059	35,0	350
Сплавы с высоким омическим сопротивлением				
Константин (58,8 Cu; 40 Ni; 1,2 Mn)*	8,88	0,44–0,52	$\pm 0,1$	500
Манганин (85 Cu; 12 Mn; 3 Ni)	8,50	0,42–0,48	$\pm 0,3$	100
Нейзильбер (65 Cu; 20 Zn; 15 Ni)	8,70	0,28–0,35	$\pm 0,4$	150–200
Никелин (54 Cu; 20 Zn; 26 Ni)	8,77	0,39–0,45	1,6	150–200
Нихром (67,5 Ni; 15 Cr; 16 Fe; 1,5 Mn)	8,20	1,00–1,10	2,0	1000
Реоган (84 Cu; 12 Mn; 4 Zn)		0,45–0,52	4,0	150–200
Фехраль (80 Fe; 14 Cr; 6 Al)		1,10–1,30	1,0	900
Хромель (89 % Ni + 9,8 % Cr + 1 % Fe + 0,2 % Mn)	8,72	$0,68 \pm 0,05$	6,0	900
Копель (55 % Cu + 45 % Ni)	8,90	$0,33 \pm 0,05$	2,0	600
Алюмель (94 % Ni + 2 % Al + 2,5 Mn + 1 % Si + 0,5 % Fe)	8,40	$0,47 \pm 0,05$	4,0	1000
Неметаллические смеси				
Селит – смесь углерода и кремния	9,8	9,8	$\pm 2,5$	1400
Криптол – смесь угля, графита и карбидов кремния		14,0	$\pm 3,0$	1400

* Значения температурного коэффициента сопротивления для константана изменяются от $-0,00004$ до $0,00001 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ в зависимости от химического состава сплава. Минус при температурном коэффициенте указывает, что с увеличением температуры сопротивление уменьшается.

Таблица 83

Сопротивление стальных токонесущих жил

Стальная оцинкованная жила		Электрическое сопротивление при 20 °С, Ом/м
диаметром, мм	сечением, мм ²	
0,6	0,283	0,550
1,1	0,950	0,145
1,2	1,131	0,140
1,4	1,540	0,100
1,8	2,542	0,070
2,0	3,140	0,048
3,0	7,060	0,021
4,0	12,560	0,012

Для определения сопротивления стальных жил нагревательных проводов переменному току табличные значения сопротивления следует умножить на коэффициент, зависящий от температуры нагрева жилы, численные значения которого приводятся в табл. 84 (экспериментальные данные).

Таблица 84

Коэффициент температуры нагрева жилы

Рабочая температура, °С	Переводной коэффициент
50	1,01
60	1,02
70	1,04
80	1,06
90	1,10
100	1,20

Максимальная установившаяся температура (t) нагрева в бетоне нагревательного провода в зависимости от погонной нагрузки (p) приближенно может быть определена по табл. 85 (экспериментальные данные).

Таблица 85

**Максимальная установившаяся температура нагрева
провода в бетоне**

Максимальная установившаяся температура, °С	Погонная нагрузка на провод, Вт/м
50	10
65	15
75	20
85	25
92	30
98	35
103	40
112	50
123	60

Сопротивление стальной токонесущей жилы различного сечения при рабочей температуре (R_t) для проводов марок ПОСХВ, ПОСХП, ПВЖ и др. в зависимости от погонной нагрузки можно определить по табл. 86 (экспериментальные данные).

Таблица 86

Расчетное электрическое сопротивление токонесущей жилы

Диаметр токонесущей стальной жилы, мм	Электрическое сопротивление токонесущей жилы (Ом/м) при погонной нагрузке на провод, Вт/м							
	10	15	20	25	30	35	40	50
0,6	0,682	0,734	0,776	0,827	0,870	0,940	0,977	1,017
1,1	0,180	0,192	0,206	0,210	0,229	0,248	0,257	0,268
1,2	0,170	0,181	0,194	0,210	0,222	0,235	0,240	0,259
1,4	0,124	0,134	0,141	0,146	0,158	0,166	0,177	0,185
1,8	0,088	0,094	0,099	0,108	0,111	0,120	0,124	0,130
2,0	0,059	0,064	0,068	0,072	0,076	0,082	0,085	0,089
3,0	0,032	0,034	0,035	0,036	0,037	0,0375	0,038	0,039
4,0	0,015	0,016	0,017	0,013	0,019	0,020	0,021	0,022

Длина нагревателей из проводов марок ПОСХВ, ПОСХП, ПВЖ, ППЖ и других, имеющих стальную оцинкованную жилу

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

с сопротивлением, соответствующим значениям, приводимым в табл. 83 и 86, может быть определена по номограмме (рис. 38). При использовании греющего провода с полимерной жилой электрические параметры можно определить по номограмме (рис. 39).

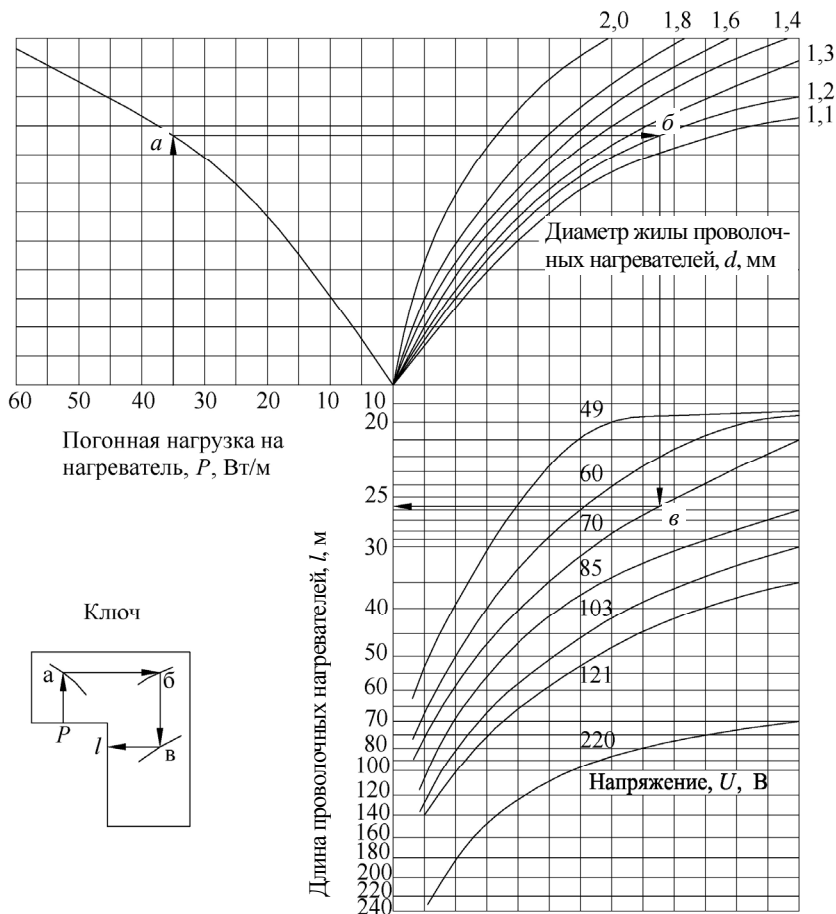


Рис. 38. Номограмма для определения длины проволочных электронагревателей со стальной токонесущей жилой

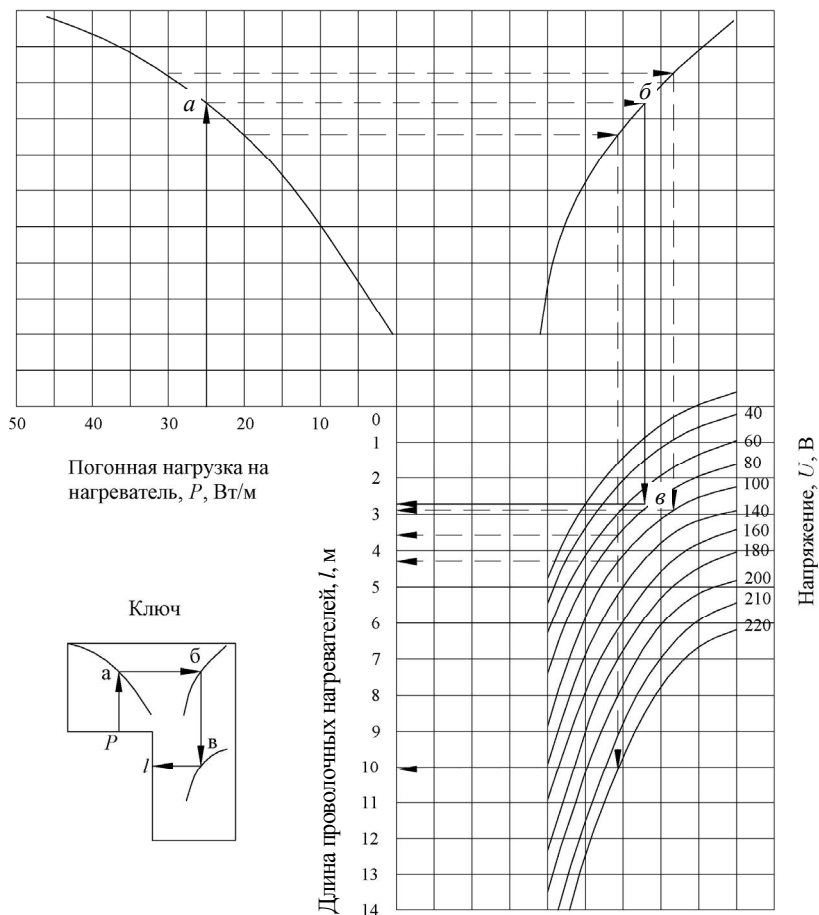


Рис. 39. Номограмма для определения параметров работы греющих проводов с полимерной токопроводящей жилой

4.6.3. Методика выбора и расчета технологических параметров электрообогрева бетона

Нагревательные провода размещают, имитируя условия внешнего обогрева, в монолитных конструкциях – в перифе-

рийных слоях, в железобетонных – в уровне арматурных сеток и каркасов. Температура во внутренних зонах конструкций поднимается за счет экзотермии цемента и передачи теплоты от более разогретых периферийных слоев.

Основным технологическим параметром является удельная электрическая (тепловая) мощность, приходящаяся на единицу площади обогреваемых конструкций ($P_{уд}$).

$$P_{уд} = \frac{P}{F}, \quad (118)$$

где P – суммарная электрическая мощность нагревателей, Вт; F – площадь обогрева, m^2 .

При расчете определяют необходимую электрическую тепловую мощность, обеспечивающую нагрев бетона до требуемой температуры. При этом удельная мощность может быть выбрана для трех характерных случаев:

- нагрева бетона с максимально допустимой скоростью, регламентируемой действующими нормами, температуру изотермического выдерживания следует регулировать во избежание местных перегревов;

- нагрева бетона до вполне определенной температуры, обеспечиваемой подбором необходимой мощности для конкретных внешних условий теплообмена по так называемому саморегулирующемуся режиму, при котором отпадает надобность в устройствах для регулирования температуры бетона;

- лишь для компенсации тепловых потерь предварительно разогретой бетонной смеси, уложенной в опалубку по способу «управляемого термоса».

Потребная удельная электрическая мощность проволочных нагревателей зависит от массивности обогреваемых монолитных конструкций, расчетной температуры наружного воздуха и скорости ветра, коэффициента теплопередачи утеплителя. Удельная мощность для всех трех случаев может быть определена графическим путем (рис. 40, 41, 42). Однако в первом слу-

чае для обеспечения нагрева бетона с максимально допустимой скоростью требуется большое количество провода и электроэнергии. В связи с этим обогрев по этому способу в практике применяется редко.

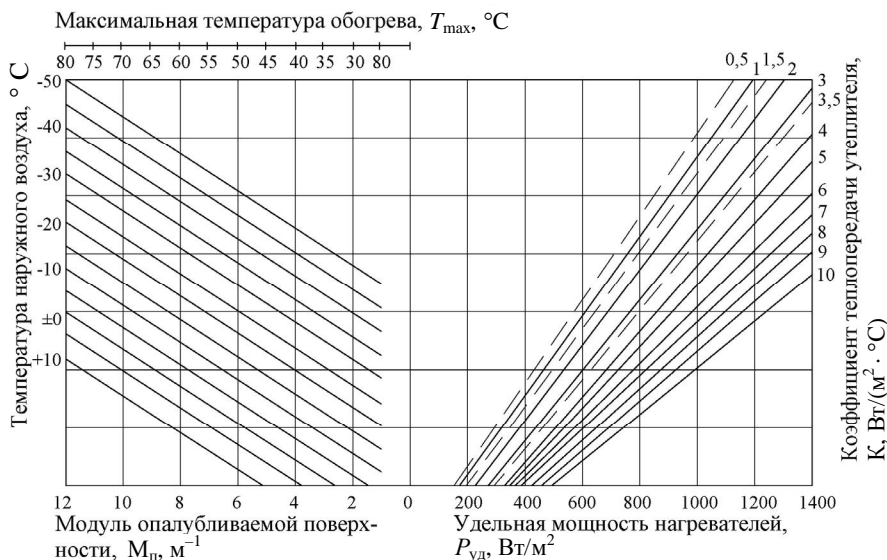


Рис. 40. Номограмма для определения удельной мощности нагревателей, обеспечивающей максимально допустимую скорость подъема температуры бетона

Другим важным технологическим параметром является равномерность температурного поля на обогреваемой поверхности конструкции, обеспечиваемая необходимой плотностью укладки нагревательного провода, или расстоянием (шагом) между смежными витками провода (*b*).

Шаг (*b*) проволочных нагревателей и количество рядов нагревателей в монолитной конструкции обусловлены требуемой удельной мощностью по расчету.

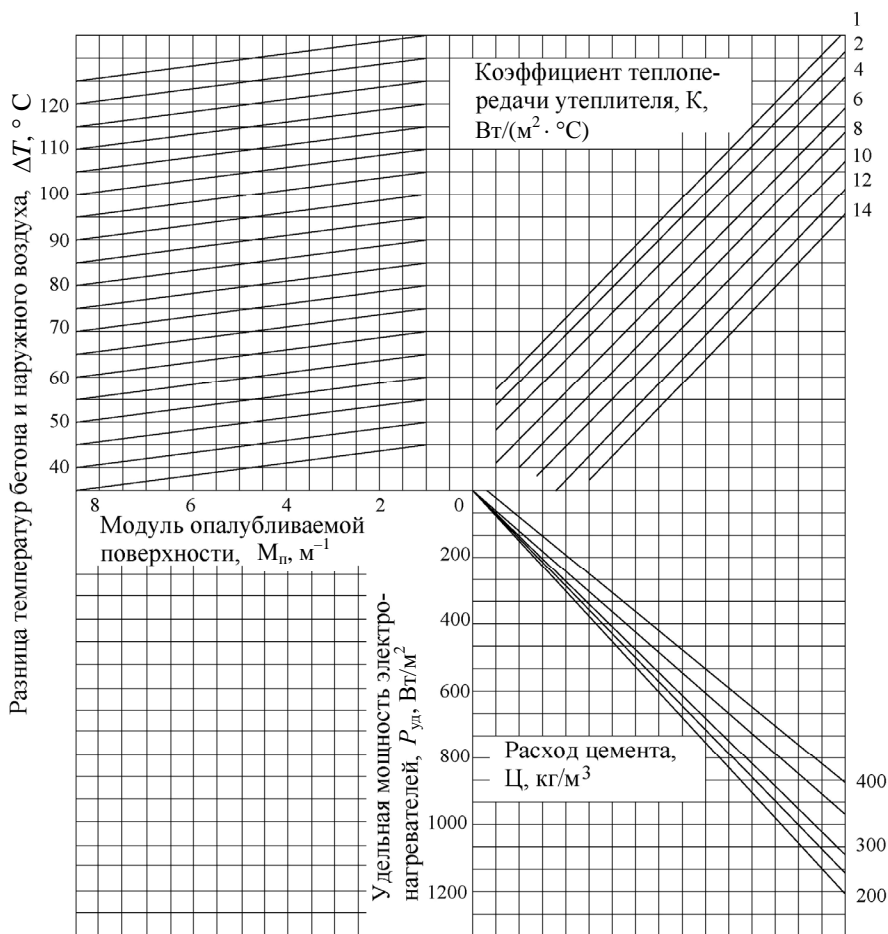


Рис. 41. Номограмма для определения удельной мощности нагревателей при саморегулирующемся режиме

Шаг проволочных нагревателей можно определить по формуле

$$b = \frac{1}{\frac{P_{уд}}{P} + 1}, \quad (119)$$

где $P_{уд}$ – удельная мощность, Вт/м²; p – погонная нагрузка на провод, Вт/м (см. подразд. 4.6.2).

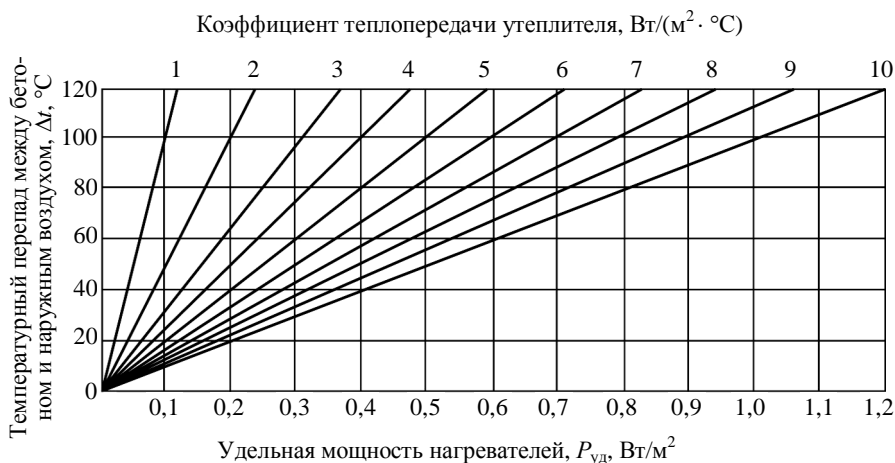


Рис. 42. График для определения удельной мощности нагревателей при использовании предварительно разогретой бетонной смеси и применении метода «управляемого термоса»

В монолитных конструкциях шаг нагревателей должен находиться в пределах 50–150 мм, для конструкций, контактирующих с грунтом (подготовки под полы, каменные и искусственные основания и т. п.), шаг может приниматься 150–200 мм.

В стыках сборных железобетонных элементов, цементно-песчаных подливках под колонны и оборудование, местных заделках шаг нагревателей обычно принимают 25–70 мм.

В ответственных монолитных элементах и несущих конструкциях при шаге нагревателей менее 30 мм и их многорядном размещении возможность закладки провода в бетон должна быть согласована с проектной организацией.

Эффективность обогрева зависит от качества и толщины утеплителя. При возведении монолитных конструкций толщину

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

и вид утеплителя (или теплозащитные свойства разных видов утеплителя) в опалубке и уложенного в открытые бетонные поверхности рекомендуется принимать одинаковой.

Коэффициенты теплопередачи основных теплоизоляционных материалов различной толщины, характеристики которых приведены в табл. 87, приближенно определяют по формуле

$$K_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k + \alpha_{\text{л}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (120)$$

где δ_i – толщина слоя теплоизоляционного материала, м; λ_i – коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м·°C); $\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент передачи теплоты от утеплителя и опалубки излучением, принимаемый равным:

$$\alpha_{\text{л}} = (4,6 + 0,045 \cdot t_{\text{н.в}}) \varepsilon, \quad (121)$$

α_k – коэффициент передачи теплоты конвекцией, Вт/(м²·°C), принимаемый равным:

а) для тел прямоугольного и квадратного сечений

$$\alpha_k = \frac{4,32 \left[(1,293 - 0,058 \cdot t_{\text{н.в}}) v \right]^{0,8}}{a^{0,2}}; \quad (122)$$

б) для цилиндра

$$\alpha_k = \frac{4,32 \left[(1,293 - 0,058 \cdot t_{\text{н.в}}) v \right]^{0,8}}{R^{0,2}}, \quad (123)$$

где ε – степень черноты полного нормального излучения материала опалубки (при расчетах можно принимать $\varepsilon = 0,65$); v – скорость ветра, м/с; $t_{\text{н.в}}$ – температура наружного воздуха, °C; a – толщина (для плит, стен) или размер стороны (для колонн, балок), м; R – радиус, м.

Средние значения коэффициентов теплопередачи утеплителя различных видов, используемого для утепления открытых горизонтальных бетонных поверхностей, приведены в табл. 88.

**Теплофизические характеристики основных
теплоизоляционных материалов**

Материал	Объемная масса, 10^3 кг/м ³	Расчетный коэффициент теплопроводности в зависимости от средней температуры слоя $t_{\text{ср}}$, Вт/(м·°С)	Максимальная рабочая температура применения, °С
Бумага битуминированная	0,87	0,14	90
Вата минеральная	0,15	$0,053 + 0,00019t_{\text{ср}}$	600
Материалы теплоизоляционные из минеральной ваты (на синтетическом связующем): плиты мягкие и маты (ПМ) плиты полужесткие (ПП) и жесткие (ПЖ)	0,10 0,15–0,175	$0,049 + 0,0002t_{\text{ср}}$ $0,051 + 0,0002t_{\text{ср}}$	350 350
Плиты теплоизоляционные жесткие из минеральной ваты на битумном связующем	0,275	$0,074 + 0,00025t_{\text{ср}}$	70
Холстопрощивной материал из стеклянного волокна (ХПС)	0,05	$0,042 + 0,00035t_{\text{ср}}$	200
Стеклоткань (ТР)	0,2	$0,039 + 0,00025t_{\text{ср}}$	450
Ткань асбестовая	0,6	$0,122 + 0,000159t_{\text{ср}}$	450
Перлит вспученный	0,18	$0,06 + 0,0001t_{\text{ср}}$	800
Плиты совелитовые	0,35	$0,075 + 0,00019t_{\text{ср}}$	500
Камышит (плиты)	0,3	0,105	100
Пенобетон	0,3–1,2	$0,07–0,32 + 0,0003t_{\text{ср}}$	400
Пенопласт (ПХВ)	0,1–0,20	0,043–0,058	70
Торфоплиты	0,15–0,25	0,047–0,07	100
Шлак котельный	0,9–1,3	0,233–0,372	600
Плиты ДСП	1,0	0,29	120
Оргалит	0,2–0,3	0,14–0,16	110
Фанера клееная	0,6	0,17	120
Опилки	0,25	0,24	110
Снег свежевывавший	0,08–0,19	0,105	–
Снег уплотненный	0,2–0,4	0,35	–
Снег, начавший таять	0,5–0,7	0,64	–

Коэффициенты теплопередачи утеплителя различных видов

Вид утеплителя нормальной влажности с пленочным укрытием	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·°С), при скорости ветра, м/с		
	0	5	15
Сосновые опилки при толщине слоя 100 мм	0,74	0,89	0,90
Минераловатные маты на синтетическом связующем толщиной 50 мм	1,01	1,31	1,37
Шлак при толщине слоя 150 мм	1,27	1,77	1,87

4.6.4. Технология производства работ

Основными требованиями для обеспечения нормального обогрева с помощью закладываемых в бетон нагревательных проводов являются предотвращение механических повреждений изоляции при установке и креплении проводов, монтаже опалубки и укладке бетонной смеси, а также недопущение возможности коротких замыканий токонесущей жилы со стальной арматурой, металлической опалубкой и другими металлическими элементами при выборе схем установки провода, которые могут иметь место при подаче на нагреватели напряжения электрического тока.

Нагревательные провода перед установкой в конструкции режут на пряжи расчетной длины. Установка их осуществляется после монтажа арматуры или части ее (в зависимости от возводимой конструкции). В монолитных колоннах и стенах обычно применяют вертикальную установку пряжей путем навивки на каркасы или размещением в виде параллельных струн на высоту бетонируемой части конструкции (рис. 43 и 44). Для обогрева ранее забетонированных конструкций греющие провода устанавливаются в верхней части монолитной подготовки, фундамента, подколонников и т. п.

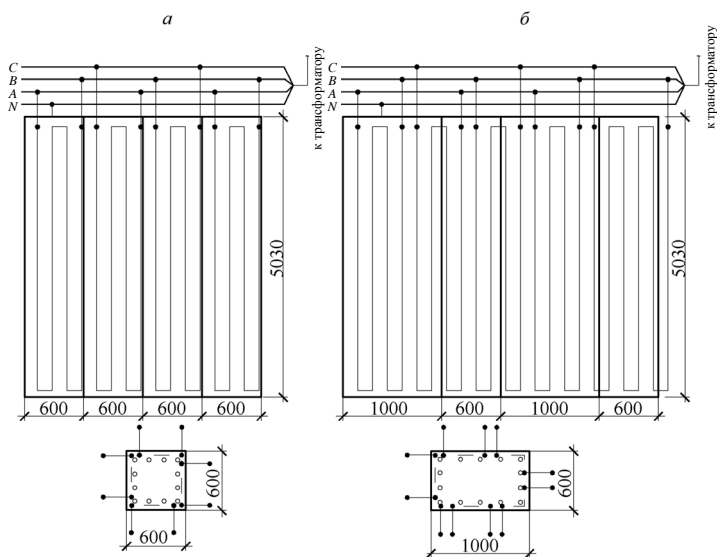


Рис. 43. Принципиальная схема укладки греющих проводов при периферийном электропрогреве колонн:

а – сечением 600×600 мм; *б* – сечением 600×1000 мм

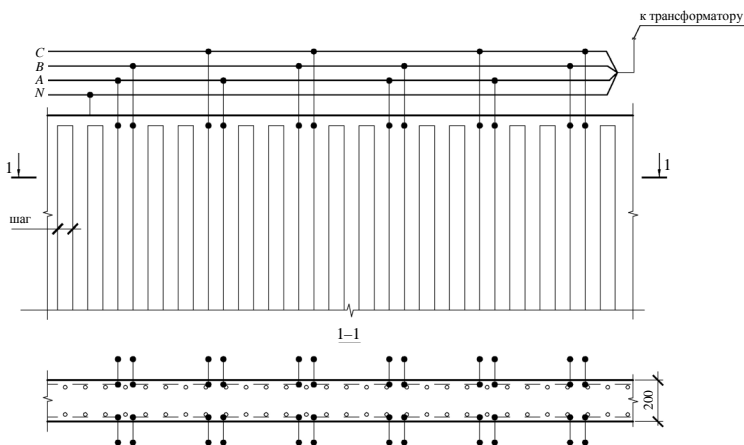


Рис. 44. Принципиальная схема укладки греющих проводов при периферийном электропрогреве диафрагм жесткости и шахт лифтов

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

В монолитных перекрытиях толщиной до 15 см греющий провод устанавливается на нижнюю арматурную сетку. При большей толщине перекрытия провод устанавливается по нижней и верхней сеткам (рис. 45). Направления расположения прикрепляемых к арматурным сеткам прядей может быть разное.

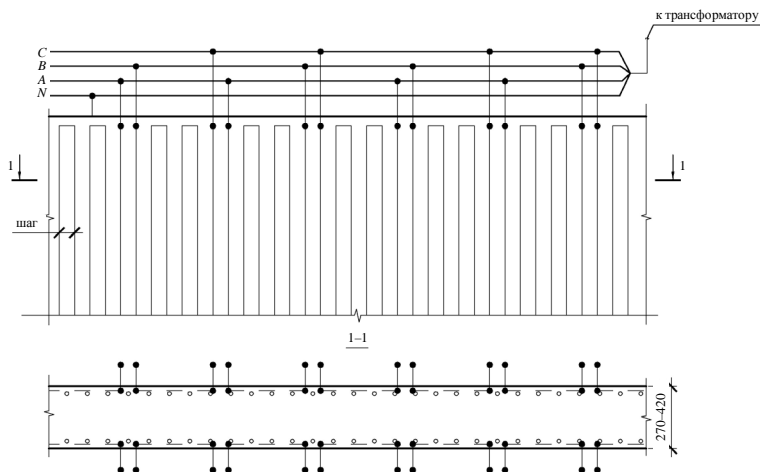


Рис. 45. Принципиальная схема укладки греющих проводов при периферийном электропрогреве плиты перекрытия

В монолитных балках греющий провод располагается по боковым элементам арматурных каркасов.

Провод при установке крепится снаружи к арматурным каркасам или к арматурным сеткам так, чтобы он располагался в наиболее защищенной от механических повреждений зоне при бетонировании, т. е. между арматурой и опалубкой.

Крепление проволочного нагревателя к арматуре производится без сильного натяжения (с усилием до 3–5 кг) мягкой вязальной проволокой диаметром не менее 1,2 мм, отрезками изолированного провода, полипропиленовым шпагатом. При этом строго соблюдается целостность изоляции и несмещаемость при укладке бетонной смеси и ее виброуплотнении. При уста-

новке в углах конструкции с режущими кромками под провод укладывается дополнительная электроизоляция (пластмассовый кембрик, пластмассовые фиксаторы и т. п.).

Во избежание расплавления и обгорания изоляции, замыкания на бетонную массу и перегорания токопроводящих жил оба конца провода соединяются отводами из изолированного монтажного одножильного медного провода с жилой сечением не менее $2,5 \text{ мм}^2$. Заизолированные соединения греющих проводов с отводами должны располагаться в бетоне после укладки смеси (см. рис. 46).

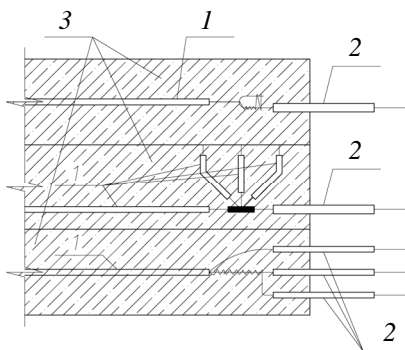


Рис. 46. Выводы греющего изолированного провода из бетона:
1 – греющий провод; 2 – монтажные провода; 3 – бетон

Вторые концы отводов из медного одножильного провода соединяются с инвентарной кабельной или из инвентарных секций шинопроводов электроразводкой открытого типа, подводящей электропитание к греющим проводам (рис. 47). При этом подключение греющих проводов производится таким образом, чтобы обеспечивалась равномерная загрузка всех трех фаз трансформатора. В случае подбора греющего провода требуемой длины из нескольких частей они соединяются между собой скрутками, надежно изолируются в бетонной смеси.

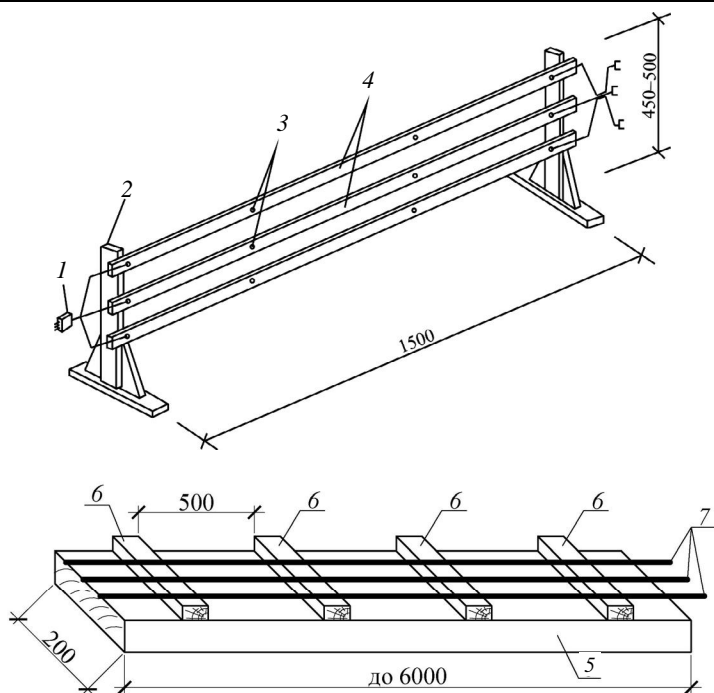


Рис. 47. Инвентарная секция шинопроводов для коммутации греющих проводов:

1 – кабельный отвод с разъемом; 2 – деревянная стойка; 3 – болты М6; 4 – шины из стальной полосы сечением 40×3 мм; 5 – секция шинопровода, изготовленная из деревянной доски, крепящейся непосредственно к опалубке; 6 – деревянные бруски сечением 40×40 мм; 7 – алюминиевая катанка диаметром 10 мм

В целях снижения трудоемкости работ отводы можно выполнять монтажным проводом от группы из нескольких нагревателей с минимальным количеством узлов соединений. Это достигается подключением концов смежных нагревателей в одной точке к отводу. Все узлы соединений изолируются водостойкой электроизоляционной лентой. Отводы от нагревателей следует располагать с одной стороны монолитных конструкций

или по осевым линиям, отмечая их через один узелками для удобства коммуникации с питающей сетью. Запрещается фиксировать концы и отводы проводов, привязывая их узлом к арматуре, т. к. это может привести к их местному перегреву и, возможно, к перегоранию при подаче напряжения.

После установки опалубки перед укладкой бетона следует проверить мегометром отсутствие замыканий прядей греющего провода. До начала бетонирования в случае снегопадов заармированные конструкции с установленными греющими проводами укрываются во избежание попадания в них снега или воды при дождях. Температура бетонной смеси, будучи уложенной в опалубку, не должна быть ниже 5 °С. Для обеспечения этого в барабанах автобетоносмесителей, в бадьях и после укладки каждого слоя смеси в конструкции регулярно измеряют температуру бетонной смеси на глубине 5–10 см.

Подключение греющих проводов к питающей электросети производится по мере завершения работ по укладке бетона и отделке его поверхности на отдельных участках бетонированной захватки, но не позднее двух часов после укладки бетона, не допуская подмораживания или замораживания бетона и подключения нагревателей на участках, где бетонная смесь еще в конструкцию не уложена.

Продолжительность прогрева бетона зависит от требуемой распалубочной прочности, установленной СНиП 3.03.01–87 для различных видов конструкций. Набор прочности бетона в зависимости от температуры прогрева может определяться по графикам (рис. 48). Во время прогрева бетона в горизонтальных конструкциях категорически запрещается ходить по теплоизоляции, по пароизоляции, которыми укрывается прогреваемый бетон.

При погонных нагрузках на провода, превышающих 30 Вт/м в армированных монолитных конструкциях, рекомендуется подавать на них напряжение на ступень ниже расчетного, а после 5–6 часов обогрева бетона переключать трансформатор на расчетное напряжение.

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

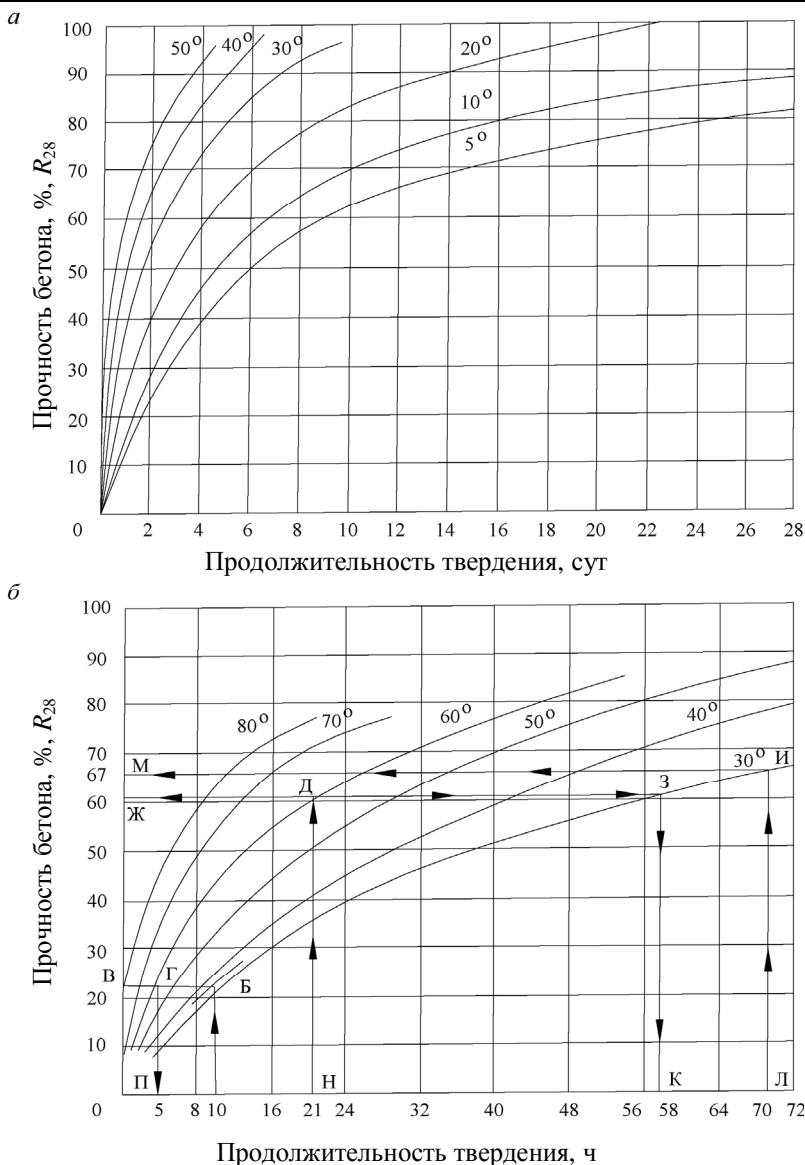


Рис. 48. Графики набора прочности бетоном класса В15 при различной температуре его выдерживания

По мере твердения бетона при изотермическом выдерживании напряжение электропитания нагревательных проводов может быть понижено на одну или две ступени в зависимости от температуры окружающей среды. Сила тока и напряжение в питающей цепи измеряется не реже двух раз в смену, а в первые три часа с начала прогрева бетона – через каждый час. Визуально проверяется отсутствие искрения в местах электрических соединений.

Контроль температуры бетона в процессе прогрева осуществляется по показаниям технических термометров или электронными приборами, датчики которых погружают в скважины. По температурному контролю проверяется характер нарастания прочности бетона и корректировка подачи напряжения на питающие провода.

Температурные датчики следует устанавливать:

- 1) на вертикальных гранях – по одному (колонны) или одному на 10 м² площади грани (стены и перегородки);
- 2) на горизонтальных гранях – по одному (балки) или по одному на 10 м² площади грани (плиты).

По окончании изотермического выдерживания бетона он остывает путем термосного выдерживания по возможности с малой скоростью (5–10 °С/ч), но не более 20 °С/ч. При резком понижении температуры наружного воздуха и возникающей опасности более интенсивного охлаждения бетона в конструкции рекомендуется обеспечивать требуемую скорость охлаждения путем периодической подачи напряжения на греющие провода на 0,3–0,5 часа.

4.6.5. Указания по подготовке конструкций к бетонированию

До начала работ по электрообогреву конструкции выполняют следующие подготовительные операции:

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

- устанавливают опалубку, арматурные сетки и каркасы (допускается применение инвентарной опалубки различных конструкций и типов);
- в уровне нижней и верхней арматурных сеток раскладывают нагревательные провода;
- очищают от мусора, снега, наледи опалубку и арматуру;
- на ровной площадке на расстоянии не более 25 м от участка электрообогрева конструкции устанавливают трансформаторную подстанцию или другие трансформаторы, используемые для этих целей;
- устанавливают ограждение рабочей зоны и проводят сигнализацию и освещение согласно рис. 49;
- изготавливают инвентарные секции шинопроводов, схема которых показана на рис. 47;
- устанавливают секции шинопроводов вдоль захватки;
- проводом марки АПР подключают нагревательные провода к секциям шинопроводов:
- подключают кабелем марки КРПТ шинопровод к трансформаторной подстанции;
- устанавливают деревянные настилы, покрытые резиновыми ковриками, около трансформаторной подстанции и распределительных шкафов;
- монтируют противопожарный щит с углекислотными огнетушителями, помещают в рабочей зоне таблички по безопасности и охране труда;
- подключают к питающей сети трансформаторную подстанцию и опробывают ее на холостом ходу, а также проверяют работу временного освещения и систем автоматики температурного регулирования;
- обеспечивают рабочее звено необходимым инструментом, индивидуальными средствами защиты, проводят инструктаж;
- после раскладки нагревательных проводов и подключения их к шинопроводу начинают укладку и электрообогрев бетонной смеси.

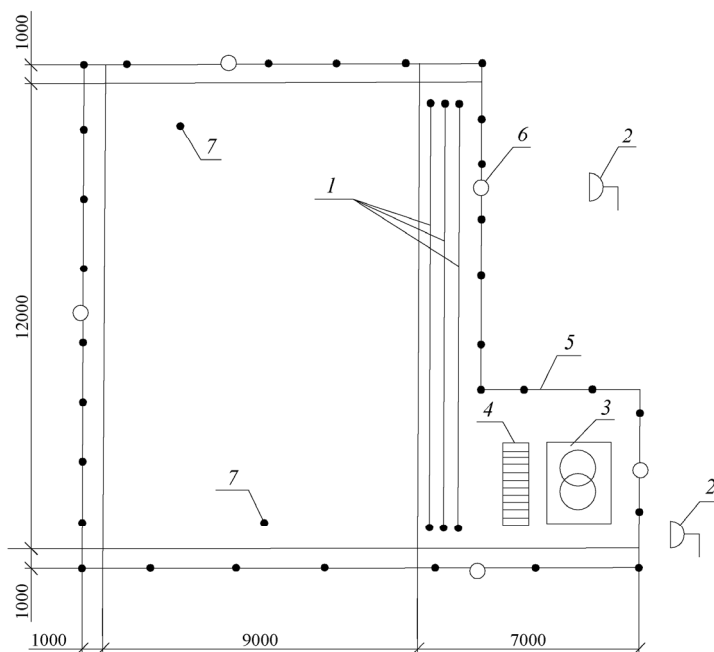


Рис. 49. Организация рабочей зоны электрообогрева:

1 – инвентарная трехфазная секция шинопроводов; 2 – прожектор; 3 – трансформаторная подстанция; 4 – диэлектрический коврик; 5 – инвентарное ограждение рабочей зоны; 6 – сигнальная лампочка красного цвета; 7 – температурные датчики

Подготовку и укладку бетонной смеси при отрицательных температурах следует производить с учетом следующих требований:

– снимать наледь с помощью пара или горячей воды не допускается. При температуре воздуха ниже -10°C арматуру диаметром более 25 мм, а также арматуру прокатных профилей и крупные металлические закладные детали следует отогревать до положительной температуры. Все выступающие закладные части и выпуски должны быть дополнительно утеплены;

– укладку бетонной смеси следует вести непрерывно, без перегрузок, средствами, обеспечивающими минимальное охлаждение смеси при ее подаче;

– температура бетонной смеси, уложенной в опалубку, не должна быть ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.6.6. Контроль качества при прогреве бетона греющими изолированными проводами

Перед началом бетонирования должно быть проверено наличие утепляющих материалов, трансформаторов напряжения, нагревательных проводов, а также токоизмерительных клещей, вольтметра, диэлектрических ковриков, перчаток и др. Следует проконтролировать отсутствие механических повреждений изоляции проводов, коммуникационной сети, понижающих трансформаторов и другого электрооборудования.

Не реже двух раз в смену измеряют температуру бетонной смеси в барабанах автобетономесителей, в бадах и после укладки и уплотнения каждого слоя в конструкцию – на глубине 5–10 см.

До начала укладки бетонной смеси должно быть проверено качество очистки основания и арматуры от снега и наледи.

После бетонирования следует проконтролировать, как защищены открытые поверхности конструкций пленкой, а также толщину утеплителя поверх нее.

Контроль температуры обогреваемого бетона следует производить техническими термометрами. Число точек измерения температуры устанавливается в среднем из расчета не менее одной точки на каждые 3 м^3 бетона, 6 м длины конструкции, 10 м^2 площади перекрытия, 40 м^2 площади подготовок полов, днищ и т. п. Температура бетона измеряется следующим образом:

– в бетон закладываются трубки из ПВХ по 10–15 см длиной (рис. 50);

– все отверстия для измерения температуры нумеруются;

- время измерения температуры – 3–4 мин;
- термометры во время измерения температуры должны быть изолированы от окружающего воздуха.

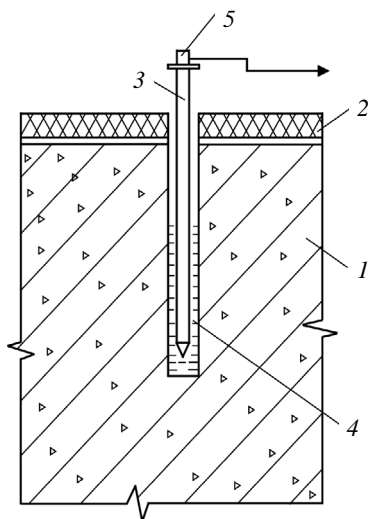


Рис. 50. Установка термодатчика в обогреваемой конструкции:

1 – монолитная конструкция; *2* – утеплитель; *3* – пенал из тонкостенной стальной трубы; *4* – индустриальное масло; *5* – термодатчик

Температуру бетона измеряют в процессе нагрева не реже, чем через 2 ч. В период изотермического прогрева – 2 раза в смену. В процессе остывания температуру тонкостенных конструкций толщиной до 10 см измеряют через 4 ч, а в среднемаассивных конструкциях толщиной более 15 см – один раз в смену. Измерять температуру бетона следует в наиболее нагреваемых и охлаждаемых зонах конструкций.

Скорость остывания бетона по окончании тепловой обработки для конструкции с модулем поверхности от 5 до 10 должна быть не более 5 °С/ч, свыше 10 – 10 °С/ч. Один-два раза в смену измеряют температуру наружного воздуха. Результаты измерений фиксируются в температурном листе.

Не реже двух раз в смену, а в первые три часа от начала обогрева бетона – через каждый час, следует измерять силу тока и напряжение в питающей цепи. Визуально проверяется отсутствие искрения в местах электрических соединений.

Прочность бетона прогнозируют по фактическому температурному режиму на наименее нагретых участках. Для определения достаточности выдерживания бетона в опалубке или под утеплителем необходимо определить количество градусочасов, полученных им в процессе выдерживания. Для этого нужно определить средние температуры бетона между двумя измерениями его температуры, начиная с момента окончания бетонирования конструкции и укрытия неопалубленных поверхностей, и умножить их на время в часах между измерениями температуры. Просуммировать полученные данные, а затем разделить на 20 °С. По полученному времени твердения бетона при 20 °С по графику нарастания прочности бетона, применяемого на стройке состава, определить ожидаемую прочность бетона в конструкции. Рекомендуются после распалубливания определять прочность обогретого бетона, имеющего положительную температуру, с помощью неразрушающих методов контроля.

Теплоизоляция может быть снята не ранее того момента, когда температура бетона в наружных слоях конструкции достигнет плюс 5 °С и не позже, чем слои остынут до 0 °С. Следует не допускать примерзания опалубки и теплозащиты к бетону.

Для предотвращения появления трещин в конструкциях перепад температур между открытой поверхностью бетона и наружным воздухом не должен превышать:

- 20 °С для монолитных конструкций с модулем поверхности до 5 м⁻¹;
- 30 °С для монолитных конструкций с модулем поверхности 5 м⁻¹ и выше.

В случае невозможности соблюдения указанных условий поверхность бетона после распалубливания должна быть укрыта брезентом, толью, щитами и т. д.

Контроль качества электрообогрева монолитных конструкций при отрицательных температурах воздуха производят в соответствии с требованиями СНиП 12-01–2004 «Организация строительства» и СНиП 3.03.01–87 «Несущие и ограждающие конструкции».

Производственный контроль качества электрообогрева осуществляют прорабы и мастера с участием специалистов электротехнических служб строительных организаций.

Производственный контроль включает в себя входной контроль электротехнического оборудования, эксплуатационных материалов и бетонной смеси, операционный контроль отдельных производственных операций и оценку соответствия качества монолитной конструкции требованиям проекта и нормативной документации.

При входном контроле электротехнического оборудования, эксплуатационных материалов и бетонной смеси проверяют внешним осмотром их соответствие нормативным и проектным требованиям, а также наличие и содержание паспортов, сертификатов и других сопроводительных документов. По результатам входного контроля должен заполняться «Журнал входного учета и контроля качества получаемых деталей, материалов, конструкций и оборудования».

При операционном контроле проверяют соблюдение состава подготовительных операций, технологии наладки электрообогревающего оборудования и устройств, укладки бетона в конструкцию в соответствии с требованиями рабочих чертежей, норм, правил и стандартов, контролируют процесс электрообогрева, температуру, силу тока и напряжение в соответствии с расчетными данными.

При проведении оценки соответствия выполненных работ проверяют качество монолитной конструкции в результате электрообогрева нагревательными проводами.

Скрытые работы подлежат освидетельствованию с составлением актов по установленной форме. Запрещается выполне-

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

ние последующих работ при отсутствии актов освидетельствования предшествующих скрытых работ во всех случаях.

Результаты операционного контроля и оценки соответствия фиксируются в журнале работ. Основными документами при операционном контроле и оценке соответствия являются настоящая технологическая карта, указанные в ней нормативные документы, а также перечни операций или процессов, контролируемых производителем работ (мастером), данные о составе, сроках и способах контроля, изложенные в табл. 89.

Таблица 89

Состав и содержание производственного контроля качества

Контро- лер	Прораб или мастер							
Опера- ции, подле- жащие контролю	Операции при входном кон- троле		Подготовитель- ные операции		Операции по укладке бетона в конструкцию и электрообогреву			Операции при оценке качества
Состав контроля	Исправность нагревательных про- водов	Проверка изоляции проводов и работоспособности коммутацион- ной аппаратуры, трансформаторов и др. электрооборудования, ис- пользуемого в работе	Устройство защитного ограждения и световой сигнализации на участ- ке работ	Очистка основания опалубки, ар- матуры от снега, наледи, утепление конструкции	Укладка бетона в монолитную конструкцию	Контроль величины силы тока и напряжения питающей цепи	Контроль температуры бетона	Контроль прочности бетона
	Проверка соответствия готовой монолитной конструкции тре- бованиям проекта							
Методы контроля	Визуально-инструментальная проверка				Визуально и по приборам			Визуально, инстру- ментально
Время контроля	До начала бетонирования				До и после бето- нирова- ния	В процессе электро- обогрева бетона		После электро- обогрева
Контро- лер, по- мощник контро- лера	Энергетик строительной организации	Мастер, прораб			Электромонтер, лаборатория			Лаборато- рия, тех- надзор

4.6.7. Техника безопасности при прогреве бетона греющими проводами

К работе с греющими проводами допускается персонал, прошедший специальное обучение и ознакомленный с их работой и подключением.

Дежурные электромонтеры должны иметь квалификацию не ниже III группы.

Эксплуатация греющих проводов производится в соответствии с «Правилами устройства и эксплуатации электрических установок» и требованиями СНиП 12-03-2001, СНиП 12-04-2002, ПОТ Р М-016-2001, ППБ 01-03 и СП 12-135-2003.

Особое внимание следует обратить:

- на целостность изоляции подводящих электрокабелей;
- на отсутствие механических повреждений.

Эксплуатация системы обогрева с указанными дефектами не допускается.

Подключение греющих проводов производится при отключенном напряжении.

Зона, где производится электрообогрев бетона, должна быть ограждена, на видном месте помещены предупредительные плакаты, правила по технике безопасности, противопожарные средства. Зона производства работ должна быть хорошо освещена.

Доступ посторонних лиц в зону обогрева запрещается.

Все металлические токоведущие части электрооборудования, арматуру следует надежно заземлить, присоединив к ним нулевой провод (жилу) питающего кабеля. При использовании защитного контура заземления, перед включением напряжения, следует проверить сопротивление контура, которое должно быть не более 4 Ом. Около трансформаторов рубильников, постов распределительных устанавливаются настилы, покрытые резиновыми ковриками.

Участок электрообогрева бетона должен постоянно находиться под надзором дежурного электрика.

Технический персонал, обслуживающий системы электрообогрева, должен пройти обучение, проверку знаний квалификационной комиссии по технике безопасности и получить соответствующие удостоверения. Дежурные электромонтеры должны иметь квалификацию не ниже 3-й группы.

Запрещается:

- укладывать греющие провода на подготовленную поверхность, имеющую штыри, режущие кромки, которые могут повредить целостность изоляции проволочных нагревателей;
- подключать нагревательные провода в сеть с напряжением, превышающим рабочее;
- подключать под рабочую нагрузку находящиеся на воздухе нагревательные провода, если они не забетонированы в конструкции;
- подключать нагревательные провода с механическими повреждениями.

4.6.8. Пример расчета греющих проводов в монолитных конструкциях

Исходные данные

Требуется рассчитать нагревательные элементы из провода марки ПНСВ со стальной жилой $1 \times 1,2$ мм, закладываемого в монолитные колонны сечением 600×600 мм и высотой 3000 мм, возводимой в инвентарной деревянной опалубке из фанеры толщиной 21 мм.

Площадь поверхности открытых ребер щитов $F = 7,2$ м². Бетон с расходом портландцемента 300 кг/м³, температура изотермического выдерживания +50 °С, режим обогрева – саморегулирующийся. Температура наружного воздуха ожидается –15 °С, скорость ветра 5 м/с. Электропитание осуществляют от трансформаторной подстанции типа КТПТО-80-86/VI с выходным напряжением 65 В. Расчетная удельная мощность на 1 пог. м греющего провода – $p = 30$ Вт/м. Сечение токонесущей жилы –

$S = 1,131 \text{ мм}^2$. Электрическое сопротивление токонесущей жилы греющего провода – $R_t = 0,222 \text{ Ом/м}$. Электрическое сопротивление при 20°C $R_0 = 0,140 \text{ Ом/м}$. Максимальная рабочая температура провода t составляет $+80^\circ\text{C}$.

Порядок расчета

1. Приведенный коэффициент теплопередачи для колонны (вертикальные грани с утепленной опалубкой)

$$K_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k + \alpha_l} + \sum \frac{\delta_{\text{опал}}}{\lambda_{\text{опал}}}},$$

где в соответствии с формулами (112) и (113) $\alpha_k = 32,14 \text{ Вт(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$; $\alpha_l = 2,55 \text{ Вт(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$; для фанерной опалубки: $\delta_{\text{опал}} = 0,021 \text{ м}$; $\lambda_{\text{опал}} = 0,17 \text{ Вт(м}^\circ\text{C)}$, т. е.

$$K_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{32,14 + 2,55} + \frac{0,021}{0,17}} = 6,56 \text{ Вт(м}^2\cdot^\circ\text{C)}.$$

2. Удельная электрическая (тепловая) мощность, приходящаяся на единицу площади обогреваемых конструкций:

$$P_{\text{уд}} = K_{\text{пр}}(t_{\text{б}} - t_{\text{н.в}}) = 6,56(50 - (-15)) = 426,4 \text{ Вт/м}^2.$$

3. Суммарная электрическая мощность нагревателей

$$P = P_{\text{уд}} \cdot F = 426,4 \cdot 7,2 = 3070,08 \text{ Вт} = 3,07 \text{ кВт}.$$

4. Длина одного участка проволочного нагревателя

$$l = \sqrt{\frac{U^2 \cdot S}{P \cdot \rho_t}} = \sqrt{\frac{U^2}{P \cdot R_t}} = \sqrt{\frac{65^2}{30 \cdot 0,222}} = 25,2 \text{ м}.$$

5. Исходя из предельно допустимой нагрузки на 1 пог. м провода марки ПНСВ диаметром 1,2 мм, равной 30 Вт/м, при обогреве колонны определяем общую длину нагревательного провода

$$L_{\text{общ}} = P / 30 = 3070,08 / 30 = 102,4 \text{ м}.$$

4. Технология бетонных работ методами искусственного прогрева

6. Шаг навивки проволочного нагревателя на арматурный каркас составит:

$$b = \frac{1}{\frac{P_{уд}}{p} + 1} = \frac{1}{\frac{426,4}{30} + 1} = 0,066 \text{ м} = 6,6 \text{ см.}$$

7. Разбиваем нагревательный провод на 4 участка длиной по 25,2 м, получая общую длину 100,8 м.

8. Тогда интенсивность тепловыделения составит:

$$P_{уд} = \frac{100,8 \text{ м} \cdot 30 \text{ Вт/м}}{(0,6 \text{ м} \cdot 3,0 \text{ м}) \cdot 4 \text{ стороны}} = 420 \text{ Вт/м}^2.$$

9. Шаг навивки провода

$$b = \frac{30 \text{ Вт/м}}{420 \text{ Вт/м}^2} = 0,071 \text{ м.}$$

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

5.1. Исходные данные

На основании СНиП 3.03.01–87 и 12-01–2004 устанавливается следующая последовательность проектирования работ. Задается объект и место его строительства (город, область, край).

Затем устанавливается время начала и окончания строительства. По табл. 43 определяются расчетная температура наружного воздуха ($t_{н.в.}$) и скорость ветра для зимнего периода различных пунктов территории РФ по месяцам.

Для составления калькуляции затрат труда и машинного времени нормы времени принимаются по ЕНиР (Общая часть) с учетом поправочных коэффициентов к зимним бетонным работам по пятой зоне и первой группе работ (эти коэффициенты для Сибири, Урала и крайнего Севера приведены в табл. 90).

Таблица 90

Поправочные коэффициенты для зимних условий

Месяц	Коэффициент	Принимаемая температура, °С
Ноябрь	1,1	–10
Декабрь, март	1,12	–20
Январь, февраль	1,18	–30

Даются описание бетонируемой конструкции, ее название, размеры, процент армирования, модуль поверхности. Зная конфигурацию конструкции, определяют ее вид (шар, квадрат, призма, пластина и т. д.), чтобы правильно выбрать коэффициент теплообмена (см. табл. 45). Коэффициент поглощения тепла замороженным основанием принимается по табл. 79.

Подбирается состав бетона (см. подразд. 1.4), марка и вид цемента берутся по заданию. Расход цемента и подвижность сме-

си регламентируются нормами (СНиП 3.03.01–87 и 82-02–95). Опалубка принимается условно, затем расчетом подтверждаются ее вид, материал и утеплитель.

Для транспортирования бетонной смеси в зависимости от осадки конуса, сроков схватывания, дальности перевозки, состояния дорог, а также факторов окружающей среды могут применяться автобетоносмесители, автобетоновозы, автосамосвалы. Типы и характеристики автотранспорта приведены в табл. 26–29.

При выборе автотранспортных средств для перевозки бетонной смеси необходимо учитывать расстояние (или время) транспортирования, класс дороги, погодные условия, подвижность и т. д. Предельно допустимое расстояние перевозки бетонной смеси, изменение температуры при транспортировании, скорость пробега машин, пооперационные затраты на приготовление, также календарный план доставки бетонной смеси приведены в табл. 30–36.

Укладка бетонной смеси (см. подразд. 1.7) состоит из следующих операций: подача бетонной смеси к месту укладки, выгрузка, распределение и ее разравнивание, и уплотнение (см. табл. 37–41 и прил. 2). Тип крана принимается по прил. 2.

Условия строительства характеризуются наличием электроэнергии, числом смен по заданию, продолжительностью зимнего периода, коэффициентом использования оборудования.

Требуемая прочность бетона до замораживания должна быть не менее 50 % от марочной.

5.2. Выбор основных методов зимнего бетонирования

Выбор основных методов производства бетонных работ в зимних условиях зависит от назначения конструкции, массивности, потока бетона, вида опалубки, способа укладки, наличия утеплителя, времени набора прочности, температуры окру-

жающей среды, скорости ветра, возможности применения химических добавок и т. д. При выборе метода нельзя пренебрегать и такими показателями, как трудозатраты и себестоимость на 1 м³, а также сроки производства работ и приведенные затраты. В табл. 42, 52, 53 дана область применения методов зимнего бетонирования.

Поток бетона на строительную площадку определяется по следующей формуле:

$$П_б = \frac{480 \cdot V_б \cdot K_{вр}}{T_{ук} \cdot K_{з,у}}, \quad (124)$$

где $П_б$ – сменный поток бетона, м³/смену; 480 – количество минут в смене; $V_б$ – емкость бункера (см. прил. 2), м³; $K_{вр}$ – коэффициент использования механизма во времени, равный 0,8; $T_{ук}$ – продолжительность укладки бетона, мин; $K_{з,у}$ – поправочный коэффициент на работы, выполняемые в зимнее время (см. табл. 90).

Модуль поверхности конструкции определяется так:

$$M_{п} = \frac{\sum S_{ост}}{V_k}.$$

Выбор того или иного метода зимнего бетонирования обусловливается рядом факторов:

1) **«термос»** – массивностью конструкции, низкой температурой воздуха, упрощенной технологией работ, а также наличием достаточного времени для набора прочности;

2) **электропрогрев** – геометрическими размерами, необходимостью интенсивного набора прочности;

3) **бетонирование с химдобавками** – отсутствием энергии, достаточным временем для набора прочности, скоростью ветра (рис. 51), небольшой отрицательной температурой воздуха;

4) **электропрогрев** – сокращением режима тепловой обработки, низкой себестоимостью производства бетонных работ, возможностью использования металлической опалубки.

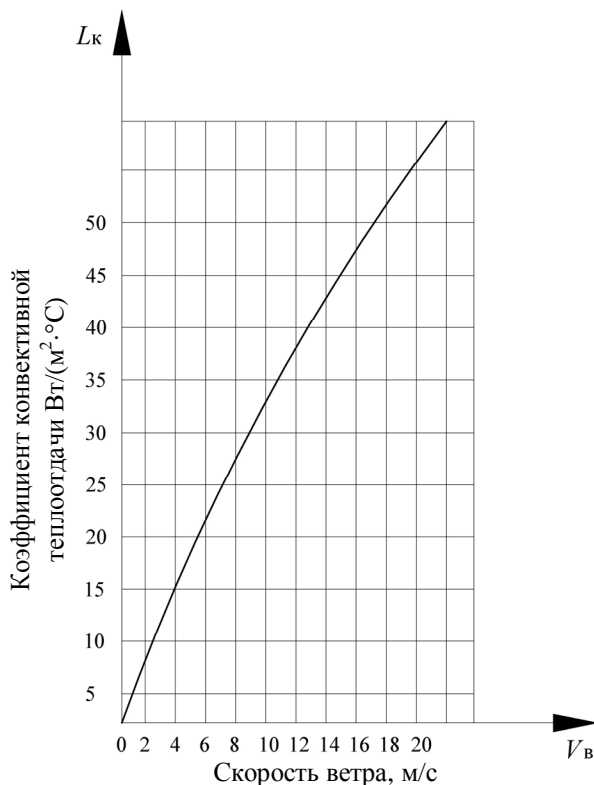


Рис. 51. Зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи от скорости ветра

Окончательный выбор метода производства бетонных работ в зимнее время должен быть подкреплён экономическими показателями.

5.3. Объем работ и калькуляция трудовых затрат

Объемы работ подсчитываются по рабочим чертежам бетонных изделий или конструкций или по чертежу, приложен-

ному к заданию, а калькуляцию трудовых затрат составляют по ЕНиР Е4-1. Результаты подсчета объемов бетонных работ заносятся в табл. 91. При зимнем бетонировании особое внимание уделяется утеплению опалубки.

Таблица 91

Ведомость объемов работ

Конструктивный элемент	Количество			
	Бетон, м ³	Арматура, кг	Опалубка, м ²	Укрытие, м ² (утепление, м ²)

Вид опалубки и ее теплофизические характеристики принимаются по табл. 46. Проектируется схема установки опалубки с указанием типа щитов и способов их крепления.

Калькуляция трудовых затрат составляется только на основании вида работ (разгрузка материалов, установка и армирование опалубки, бетонирование, уход за бетоном и т. д.) В табл. 92 дана форма составления калькуляции. Районные и поправочные коэффициенты на зимние работы учитываются в итоге калькуляции.

Таблица 92

Калькуляция затрат труда и машинного времени

№ п/п	Наименование технологических процессов	Единица измерения	Объем работ	Обоснование (ЕНиР и др. нормы расценки)	Норма времени		Затраты труда	
					рабочих, чел.-ч	машиниста, чел.-ч (работа машин, маш.-ч)	рабочих, чел.-ч	машиниста, чел.-ч (работа машин, маш.-ч)

5.4. Расчет времени остывания и набора прочности бетона

Время остывания на морозе бетона, уложенного в опалубку, может быть рассчитано по уравнению теплового баланса. Однако это уравнение за последние годы претерпело ряд уточнений. Так, коэффициент продуваемости опущен (как не имеющий смысла), теплообмен с внешней средой рассматривается с учетом скорости движения воздуха (конвективно), а также лучеиспускания. Итак, время остывания изделий и конструкций на морозе определяется по формуле

$$\tau = \frac{C_b \cdot \gamma_b (t_{b,n} - t_{b,k}) + \mathcal{E} \cdot \Pi}{3,6 \cdot K_T \cdot M_{\Pi} (t_{b,sp} - t_{n,v})},$$

где τ – продолжительность остывания бетона, ч; C_b – удельная теплоемкость бетона; γ_b – объемная масса бетона, кг/м³; $t_{b,n}$ – начальная температура бетонной смеси, °С; $t_{b,k}$ – конечная температура бетона, до которой осуществляется расчет продолжительности остывания, °С; \mathcal{E} – тепловыделение 1 кг цемента за время остывания бетона (табл. 93); Π – расход цемента на 1 м³ бетона, кг; K_T – коэффициент теплопередачи опалубки; M_{Π} – модуль поверхности остываемой конструкции, м⁻¹; $t_{b,sp}$ – среднее значение температуры бетона за время остывания, °С; $t_{n,v}$ – температура наружного воздуха, °С.

Таблица 93

Тепловыделение цементов различных видов и марок в зависимости от температуры и времени твердения

Вид и марка	Температура, °С	Тепловыделение, Дж/кг							
		Время твердения, сут							
		0,25	0,5	1	2	3	7	14	28
Портланд-цемент М300	10	8,4	25,9	41,9	83,9	125,7	188,6	230,6	272,4
	20	25,2	41,9	75,4	125,7	167,6	230,5	251,4	283,3
	40	50,3	83,8	146,7	188,6	230,5	251,4	293,3	–
	60	83,8	146,7	188,6	230,5	272,4	298,3	–	–

Вид и марка	Темпера- тура, °С	Тепловыделение, Дж/кг							
		Время твердения, сут							
		0,25	0,5	1	2	3	7	14	28
Портланд- цемент М400	5	—	—	29,3	62,9	108,9	188,4	209,5	251,4
	10	12,6	25,2	50,3	104,8	146,7	209,5	251,4	293,3
	20	41,9	66,9	104,8	167,6	209,5	272,4	314,3	335,2
	40	83,7	133,9	188,6	230,5	272,4	314,3	335,2	—
	60	129,8	188,4	230,5	272,4	314,3	335,2	—	—
Портланд- цемент М500	5	12,6	25,2	41,9	88,8	125,7	188,6	230,5	272,4
	10	25,2	41,9	62,9	104,8	167,6	251,4	393,3	314,3
	20	41,9	83,8	125,7	188,6	251,4	293,3	335,2	377,1
	40	104,8	167,6	209,5	272,4	293,3	356,2	377,1	—
	60	188,6	230,5	272,4	314,3	356,2	377	—	—
БТЦ М600	10	33,5	50,3	75,4	125,7	167,6	372,4	335,2	377,1
	20	62,9	104,8	146,7	209,5	293,3	335,2	377,1	419
	40	117,3	188,6	230,5	293,3	335,2	377,1	419	—
	60	209,5	251,4	293,3	335,2	377,1	419	—	—
ШПЦ М300	10	—	25,2	33,5	62,9	104,8	167,6	209,5	230,5
	20	—	33,5	62,9	125,7	146,7	209,5	251,4	272,4
	40	41,9	75,4	117,3	167,6	209,5	251,4	272,4	—
	60	62,9	104,8	146,7	209,5	230,5	272,4	—	—

Для получения времени остывания из данной формулы необходимо знать размеры конструкции, расход стали, вид и марку бетона, вид и активность цемента, расход цемента на 1 м³ бетона, температуру наружного воздуха, скорость ветра, начальную температуру бетона, конструкцию опалубки.

Последовательность расчета

1. Определяют объем бетона в конструкции

$$V = h \cdot B \cdot L.$$

2. Рассчитывают поверхность охлаждения конструкции

$$F = 2(h \cdot B_1 + B_1 \cdot L + h \cdot L),$$

где h , B и L – соответственно толщина, высота и длина бетонируемой конструкции, м.

3. Модуль поверхности конструкции будет:

$$M_{\Pi} = \frac{F}{V}.$$

4. Определяют потери тепла при транспортировании

$$t_{\text{тр}} = t_0 - (t_0 - t_{\text{в}}) \left(0,001 \frac{T_{\text{тр}}}{h_{\text{тр}}} + 0,05 \frac{h_{\text{тр}}}{V_{\text{тр}}} \right), \quad (125)$$

где $t_{\text{тр}}$ – температура смеси после транспортирования, °С; t_0 – температура приготовления смеси, °С; $t_{\text{в}}$ – температура наружного воздуха, °С; 0,001 – коэффициент, учитывающий снижение температуры за одну минуту при транспортировании смеси высотой 0,5–1 м, °С/мин; $T_{\text{тр}}$ – время транспортирования смеси; $h_{\text{тр}}$ – высота транспортируемой смеси; 0,05 – коэффициент, учитывающий снижение температуры смеси при перегрузке 1 м³ бетона; $n_{\text{пер}}$ – количество перегрузок смеси; $V_{\text{тр}}$ – объем транспортируемой смеси, м³.

5. Определяют начальную температуру бетона после укладки с учетом потерь тепла на нагрев арматуры

$$t'_{\text{б.н}} = \frac{C_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot t_{\text{б.н}} + C_1 \cdot P_1 \cdot t_{\text{в}}}{C_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} + C_1 \cdot P_1}, \quad (126)$$

где C_1 – удельная теплоемкость арматуры; P_1 – расход арматуры, кг/м³; $t_{\text{б.н}} = t_{\text{б.в}} - t_{\text{тр}}$ – температура бетонной смеси перед началом укладки, °С; $t_{\text{б.в}}$ – температура бетонной смеси при выходе из бетономешалки, °С;

6. Определяют среднюю температуру бетона $t_{\text{б.ср}}$, при которой можно обеспечить требуемую величину прочности за заданное время:

$$t_{\text{б.ср}} = \frac{t_{\text{б.н}} - t_{\text{б.к}}}{1,03 + 0,181 \cdot M_{\Pi} + 0,006 \cdot t_{\text{б.н}}}. \quad (127)$$

7. Определяют коэффициент теплопередачи опалубки по формуле

$$K_T = \frac{C_6 \cdot \gamma_6}{M_{\Pi} \cdot \tau} \left[1,5 - \sqrt{\frac{6 \cdot (t_{6, \text{ср}} - t_B)}{t'_{6, \text{н}} - t_B}} - 3,75 \right] \quad (128)$$

(по табл. 45 назначают конструкцию опалубки).

8. Определяют величину теплового потока, проходящего через опалубку

$$q = \alpha(t_{6, \text{н}} - t_B), \quad (129)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°C (см. рис. 51).

9. Рассчитывают коэффициент теплоотдачи излучением по формуле

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\mu \left[\left(\frac{t'_{\text{оп}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_B + 273}{100} \right)^4 \right]}{t'_{\text{оп}} - t_B}, \quad (130)$$

где μ – коэффициент излучения материала опалубки, Вт/(м²·°C) (табл. 94); $t'_{\text{оп}}$ – температура на наружной поверхности опалубки, °C (практически она близка к температуре наружного воздуха).

Таблица 95

**Значения коэффициентов излучения материалов,
наиболее часто применяемых в строительстве**

Материал	Поверхность	Коэффициент излучения, Вт/(м ² ·°C)
Бетон	Шероховатая	3,61
Дерево (ель)	Строганая	4,44
Дерево (дуб)	Строганая	5,12
Алюминий	Неполированная	0,26
Сталь листовая	Черная матовая	3,95
Опилки древесные	Шероховатая	4,11
Толь	Шероховатая	5,26

10. Для выбранного типа опалубки определяют температуру на ее наружной поверхности по формуле

$$t_{\text{оп}}^{\text{н}} = t_{\text{в}} + q \frac{1}{\alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}} . \quad (131)$$

Это значение должно удовлетворять условию

$$\frac{t_{\text{оп}}^{\text{н}} - t'_{\text{оп}}}{t'_{\text{оп}}} 100 \% \leq \pm 5 \% .$$

Если расхождение между заданной и расчетной температурами на наружной поверхности опалубки будет превышать $\pm 5 \%$, то расчет нужно уточнить, задаваясь другими параметрами температуры.

11. Находят температуру (среднюю) нагрева опалубки в начальный момент остывания конструкции

$$t_{\text{оп}}^{\text{п}} = \frac{t'_{\text{б.н}} + t_{\text{оп}}^{\text{н}}}{2} . \quad (132)$$

12. Определяют тепло, расходуемое на нагрев опалубки

$$Q_{\text{оп}} = (t_{\text{оп}}^{\text{п}} - t_{\text{в}}) \sum_{i=1}^n C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \gamma_i , \quad (133)$$

где $C_i, F_i, \delta_i, \gamma_i$ – соответственно удельная теплоемкость, площадь, толщина и объемная масса материала опалубки, $t_{\text{оп}}^{\text{п}}$ – температура (средняя) нагрева опалубки.

13. Рассчитывают температуру бетона к началу остывания конструкции с учетом потерь тепла, расходуемого на нагрев арматуры и опалубки

$$t_{\text{б.н}}'' = \frac{C_1 \cdot \gamma_1 \cdot V \cdot t_{\text{б.н}} - C_2 \cdot P_2 \cdot V \cdot t_{\text{в}} - Q_{\text{оп}}}{C_1 \cdot \gamma_1 \cdot V - C_2 \cdot P_2 \cdot V + \sum C_i \cdot F_i \cdot \delta_i \cdot \gamma_i} . \quad (134)$$

14. Уточняют коэффициент теплопередачи опалубки с учетом $t_{\text{б.н}}''$

$$K'_t = \frac{C_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}}}{M_{\text{п}} \cdot \tau} \left[1,5 - \sqrt{\frac{6(t_{\text{б.п}} - t_{\text{в}})}{t_{\text{б.н}}'' - t_{\text{в}}}} - 3,75 \right] . \quad (135)$$

Если коэффициент теплопередачи не соответствует принятой опалубке (см. табл. 45), то необходимо уточнить расчет и добавить утеплитель.

15. Определяют теплопроводность материала с учетом изменения температуры опалубки. Расчет производится по формуле О.Е. Власова:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + 0,0025 \cdot t_{\text{оп}}^p), \quad (136)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности материалов опалубки при 0 °С, который принимается по справочным данным или определяется опытным путем, Вт/(м·°С) (табл. 95).

Таблица 95

Теплофизические характеристики материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость, кДж
Сосна	750	0,2	3,0
Осина	500	0,25	3,0
Сухие опилки	300	0,15	2,8
Влажные опилки	500	0,2	2,8
Минвойлок	300	0,08	0,95
Сталь	7900	45	0,45
Бетон	2500	1,8	0,85
Бетонная смесь	2400	2,0	1,05
Песок	1500	1,0	0,9
Щебень, гравий	1700	1,0	0,9
Стекловата	200	0,037	0,186
ДВП	250	0,13	2,3
Древесная стружка	150	0,076	0,76

16. Определяют толщину теплоизоляционного слоя

$$\delta_{\text{из}} = \lambda_{\text{из}} \left[\frac{1}{K'_t} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right], \quad (137)$$

5. Методические указания по проектированию технологии бетонных работ

где $\lambda_{из}$, λ_i – коэффициенты теплопроводности соответственно теплоизоляции и составляющих материалов опалубки при $t_{оп}^p$, Вт/м·°С. Здесь же уточняют тепловой поток через опалубку

$$q' = K'_T (t''_{б.н} - t_B). \quad (138)$$

17. Находят температуру наружной поверхности опалубки окончательно

$$t_{оп}^{ок} = t_B + \frac{q'}{\alpha_{л} + \alpha_k}. \quad (139)$$

18. Уточняют процент ошибки наружной температуры опалубки

$$\frac{t_{оп}^{ок} - t_{оп}}{t'_{оп}} 100 \% \leq \pm 5 \%.$$

19. Определяют температуру бетона к концу заданного срока остывания

$$t_{б.к} = (t''_{б.н} - t_B) \exp^{\frac{-K'_T \cdot M_{п} \cdot \tau}{C_б \cdot \gamma_б}} + t_B. \quad (140)$$

20. Вычисляют продолжительность остывания бетона до $t_{б.к}$

$$\tau = \frac{C_б \cdot \gamma_б (t''_{б.н} - t_{б.к}) + \Xi \cdot \Pi}{K'_T \cdot M_{п} (t_{б.сп} - t_B)}. \quad (141)$$

Определив время остывания конструкции, можно получить прочность по таблицам и номограммам (прил. 2) или по формуле

$$R_б = (R_0 + \Delta R_t \cdot t_{ук}) \sqrt[3]{K_{тв} \cdot \tau_{тв}}, \quad (142)$$

где $R_б$ – прочность бетона, %; R_0 – суточная прочность при 0 °С, %/сут; ΔR_t – прирост суточной прочности на каждый градус повышения температуры (темп роста), %/(сут · °С); $t_{ук}$ – температура уложенного бетона, °С; $K_{тв}$ – коэффициент, учиты-

вающий влияние времени твердения на рост прочности бетона, при получении прочности до 80 % от марочной принимается равным 1; $\tau_{\text{ТВ}}$ – продолжительность твердения бетона до 0 °С, сут. Данные по суточной прочности бетона и ее приросту рекомендуется брать в центральных строительных лабораториях.

В табл. 96 приведены ориентировочные значения суточной прочности бетона при 0 °С и ее прироста от температуры.

Таблица 96

Суточная прочность бетона

Вид и марка цемента	Суточная прочность при 0 °С, %/сут	Прирост суточной прочности, %/(сут · °С)
ШПЦ, 300	5	0,7
ШПЦ, 400	8	0,75
ПЦ, 400	10	0,75
БТЦ, 500	15	0,8
БТЦ, 600	18	0,9

Примечания: 1. При использовании химических добавок данные резко изменяются и требуют уточнения в строительной лаборатории.

2. В табл. 46–51 приведены данные по приросту прочности бетона во времени в зависимости от температуры.

5.5. Определение потребности в материалах энергии и трудозатратах

1. Расход пара на подогрев составляющих бетонной смеси (гравий, щебень, песок, вода) рассчитывается в плановых отделах строительных организаций. Большинство бетонных заводов греют заполнители водяными регистрами. В настоящее время новые бетонорастворные заводы имеют закрытые отапливаемые склады инертных материалов, где подогрев их происходит за счет положительной температуры в складских помещениях.

Приблизенно расход энергии на подогрев составляющих будет:

$$q_3 = C_3 \cdot \gamma_3 (t_0 - t_b) \cdot 10^{-6}, \quad (143)$$

где q_3 – расход энергии на подогрев 1 м³ заполнителей (песок, щебень, гравий); γ_3 – объемная масса заполнителя, кг/м³; C_3 – удельная теплоемкость заполнителей; t_0 – конечная температура разогрева, °С; t_b – температура наружного воздуха °С.

При бетонировании с противоморозными добавками или электроразогревом смеси нет необходимости в подогреве щебня и гравия.

2. Расход электроэнергии и трансформаторной мощности:

а) при электропрогреве бетонной смеси (см. подразд. 4.2.3) полностью дан расчет потребной тепловой мощности при проектировании теплового режима электропрогрева;

б) при инфракрасном нагреве (см. подразд. 4.3.6) дан пример расчета нагрева бетона инфракрасным излучением;

в) расход электроэнергии при проектировании индукционного прогрева (см. подразд. 4.4.3) вычисляется по образцу расчета индукционного прогрева ригеля;

г) в подразд. 4.5 приведен пример расчета оборудования и расхода электроэнергии на разогрев смеси.

3. Расход материалов на 1 м³ бетона:

а) при бетонировании с электроразогревом смеси необходимо рассчитать расход кабеля для поста по разогреву бетонной смеси. Длина кабеля (например, КРПТ-90) будет зависеть от расстояния между КТП и щитом управления, а также между щитом управления и устройством по разогреву бетонной смеси. В зависимости от того, какая принята схема разогрева смеси (разогрев в кузове самосвалов, в бадьях, непрерывный разогрев), можно по рабочим чертежам уточнить расход металла, кабеля, электроприборов, диэлектриков, трансформаторной мощности и т. д.;

б) при электропрогреве бетона определяется количество проводов, установленных на прогревочный аппарат. Подсчитывается расход электродов конструкции;

в) при бетонировании изделий и конструкций методом термоса по рабочим чертежам подсчитывается расход утеплителя и дополнительной опалубки;

г) при бетонировании с противоморозными добавками, определяется их количество (см. разд. 3).

4. Расчет дополнительных затрат в зависимости от методов бетонирования производится следующим образом:

а) при бетонировании с электроразогревом смеси рассчитываются дополнительная трудоемкость дежурного электрика III разряда

$$\Delta T_3 = \frac{H_{вр} \cdot 8}{\Pi_6}, \quad (144)$$

где ΔT_3 – трудозатраты на 1 м³ бетона, чел.-день/м³; $H_{вр}$ – норма времени, чел.-смена; Π_6 – сменный поток бетона, м³;

б) при бетонировании методом термоса подсчитываются затраты на изготовление утепленных щитов и их монтаж. Затраты труда можно подсчитать как разницу трудозатрат на изготовление утепленных и обычных щитов

$$\Delta T_{ут} = (H_1 - H_2) \frac{S_{оп}}{V_k \cdot n_{об}}, \quad (145)$$

где $\Delta T_{ут}$ – трудозатраты на утепление щитов, чел.-ч/м³; H_1 и H_2 – соответственно норма времени на устройство утепленных и неутепленных щитов, чел.-ч/м³ (трудозатраты на установку утепленных щитов можно взять приближенно, увеличив на 25 % H_2 на установку обычных щитов);

в) при бетонировании с электропрогревом бетона помимо затрат на дежурного электрика, рассчитываемых вышеуказанным способом, определяются затраты труда на монтаж и демонтаж трансформаторов;

г) при бетонировании с противоморозными добавками учитываются дополнительные трудозатраты и затраты на дозировщиков соли по III разряду повременщика.

5.6. Стройгенплан объекта

Стройгенплан разрабатывается в масштабе 1:1000, 1:2000, где наносятся постоянные и временные транспортные пути, сети водоснабжения, канализации, теплоснабжения, электроснабжения, схема установки монтажных кранов, дано расположение складов, административно-хозяйственных и диспетчерских помещений.

5.7. Календарный график производства работ

Календарный график работ также разрабатывается в соответствии с требованиями СНиП 12-01-2004 на основе калькуляции трудовых затрат и дополнительных работ, связанных с их выполнением в зимних условиях.

Календарный график предусматривает последовательность и сроки выполнения работ, потребность в трудовых ресурсах (табл. 97).

Таблица 97

Календарный график производства работ

№ п/п	Наименование технологических процессов	Единица измерения	Объем работ	Затраты труда		При- нятый со- став звена	Продолжи- тельность процесса T_n ($T_{пл}$), дни	Рабочие дни	
				рабо- чих, чел- дн.	машини- ста, чел.-ч (работа машин, маш.-см.)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

5.8. Материально-технические ресурсы

Материально-технические ресурсы, необходимые для производства бетонных работ в зимних условиях, подсчитываются по соответствующим формам (табл. 98 и 99).

Таблица 98

**График поступления на объект строительных конструкций,
изделий, материалов и оборудования**

Наименование строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования	Единица измерения	Количество	График поступления по дням, неделям, месяцам
1	2	3	4

Таблица 99

**График движения
основных строительных машин по объекту**

Наименование	Единица измерения	Число машин	Среднесуточное число машин по дням, неделям, месяцам			
			1	2	3	и т. д.
1	2	3	4			

5.9. Указания по технологии бетонных работ

Указания по производству бетонных работ составляются согласно Руководству по производству бетонных работ и СНиП 3.03.01-87.

Устанавливается очередность ведения подготовительных (подготовка площадки, устройство подъездных путей, монтаж кранов, разбивка осей и т. д.) и основных работ (установка опалубки, армирование, бетонирование, уход за бетоном, распалубка и т. д.).

Дается описание технологии установки щитов, их крепления и монтажа подмостей. Указываются схема монтажа арматуры, способы обеспечения защитного слоя, дается образец составления акта на скрытые работы, подробно освещаются технология ведения и последовательность заполнения журнала на

производство бетонных работ, где указываются: 1) дата ведения работ; 2) марка бетона и вид цемента; 3) способ укладки бетона; 4) применяемые вибраторы; 5) наличие утеплителя; 6) предлагаемый режим тепловой обработки; 7) предполагаемая прочность; 8) уход за бетоном; 9) способы контроля температуры и ведения журнала тепловой обработки и т. д.

5.10. Техника безопасности

Техника безопасности при производстве бетонных работ в зимних условиях должна соблюдаться в соответствии с требованиями СНиП 12-03-2001 и СНиП 12-04-2002. В разд. 3 и 4 рассматриваются правила техники безопасности при производстве бетонных работ с химическими добавками, электропрогреве, электроразогреве, индукционном прогреве, электрообогреве греющими проводами, а также при тепловой обработке изделий и конструкций инфракрасными нагревателями.

5.11. Технико-экономические показатели

В конце расчетно-пояснительной записки должны быть приведены основные технико-экономические показатели. К ним можно отнести:

1. Продолжительность выполнения работ T_o , дн.
2. Нормативные затраты труда рабочих T_p , чел-ч.
3. Нормативные затраты машинного времени основных механизмов, T_m , маш-ч.
4. Выработка на одного рабочего V_p , м³/чел-см.

Одним из сложных вопросов при проектировании технологии бетонных работ в зимних условиях является расчет времени остывания и прочности бетона. В прил. 4 дается расчет времени остывания и прогнозирования прочности железобетонного фундамента.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

Учебники и учебные пособия

1. *Афанасьев, А.А.* Интенсификация работ при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона / А.А. Афанасьев. – М. : Стройиздат, 1990. – 376 с.
2. *Баженов, Ю.М.* Технология бетона : учебник / Ю.М. Баженов. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 500 с.
3. *Головнев, С.Г.* Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов / С.Г. Головнев. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 156 с.
4. *Красный, Ю.М.* Монолитное домостроение / Ю.М. Красный, Д.Ю. Красный. – М. : Изд-во АСВ, 2000. – 550 с.
5. *Крылов, Б.А.* Руководство по производству бетона в монолитных конструкциях / Б.А. Крылов // НИИЖБ. – М. : «Красный пролетарий», 2005. – 275 с.
6. *Молодин, В.В.* Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях : монография / В.В. Молодин, Ю.В. Лунев ; науч. ред. д. т. н., проф. Ю.А. Попов ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин) ; ООО «Евросити». – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. – 300 с.
7. *Териченко, В.И.* Технология строительных процессов : учебник для вузов по спец. ПГС. В 2 ч. / В.И. Териченко, О.М. Терентьев, А.А. Лapidус. – изд-е 4-е, стер. – М. : Высшая школа (строит. технологии). – 2008. – Ч. 1–2.
8. *Технология* зимнего монолитного бетонирования : учеб. пособие / Э.И. Батянский, Н.М. Голубев, В.В. Бабицкий [и др.]. – М. : Изд-во АСВ, 2009. – 229 с.

Нормативно-техническая литература

9. *ГОСТ 10178–85** (СТ СЗВ 5683–86). Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия / Госстрой СССР, 1985.
10. *ГОСТ 22266–94.* Цементы сульфатостойкие. Технические условия / Минстрой России, 1995.
11. *ГОСТ 8736–93**. Песок для строительных работ. Технические условия / Минстрой России, 1994.
12. *ГОСТ 8735–88**. Песок для строительных работ. Методы испытаний / Госстрой СССР, 1989.
13. *ГОСТ 8267–93**. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия / Госстрой России, 1994.

14. *ГОСТ 8269.0–97**. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний / Госстрой России, 1998.
15. *ГОСТ 30459–2008*. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности / Госстрой России, 2003.
16. *ГОСТ 24211–2008*. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия / Госстрой России, 2003.
17. *ГОСТ 10180–90*. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам / Госстрой СССР, 1989.
18. *ГОСТ 10181–2000*. Смеси бетонные. Методы испытаний / Госстрой России, 2000.
19. *ГОСТ 310.4–81**. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии / Госстрой СССР, 1981.
20. *ГОСТ 5578–94*. Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия / Минстрой России, 1995.
21. *ГОСТ 7392–2002*. Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия / Госстрой России, 2003.
22. *ГОСТ 7473–94*. Смеси бетонные. Технические условия / Минстрой России, 1995.
23. *ГОСТ 23732–79*. Вода для бетонов и растворов. Технические условия / Госстрой СССР, 1979.
24. *ГОСТ 27006–86*. Бетоны. Правила подбора состава / Госстрой СССР, 1986.
25. *ГОСТ 28570–90* (СТ С7В 3978–83). Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкции / Госстрой СССР, 1990.
26. *ГОСТ 10060.0–95*. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования / Минстрой России, 1996.
27. *ГОСТ 10060.1–95*. Базовый метод определения морозостойкости / Минстрой России, 1996.
28. *ГОСТ 10060.2–95*. Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многовариантном замораживании и оттаивании / Минстрой России, 1996.
29. *ГОСТ 7025–91*. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости / Госстрой СССР, 1991.
30. *ГОСТ 12730.5–84**. Бетоны. Методы определения водопроницаемости / Госстрой СССР, 1984.
31. *ГОСТ 12730.0–78*. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости / Госстрой СССР, 1978.
32. *ГОСТ 1805–76**. Масло приборное МВП. Технические условия / Госстандарт СССР, 1976.

33. *ГОСТ 11052–74*. Цемент глиноземистый расширяющийся / Госстрой СССР, 1974.
34. *ГОСТ 5802–86*. Растворы строительные. Методы испытаний / Госстрой СССР, 1985.
35. *ГОСТ 1526–81**. Проволока стальная оцинкованная для бронирования электрических проводов и кабелей. Технические условия / Госстандарт СССР, 1981.
36. *ГОСТ 1668–73**. Проволока стальная оцинкованная для воздушных линий связи. Технические условия / Госстандарт СССР, 1973.
37. *ГОСТ 7372–79**. Проволока стальная канатная. Технические условия / Госстандарт СССР, 1979.
38. *ГОСТ Р 53231–2008*. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. М. : Стандартинформ, 2009.
39. *ЕНиР*. Сборник Е4-М. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 1. Здания и промышленные сооружения / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1987. – 64 с.
40. *ЕНиР*. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Общая часть. – М. : Прейскурантиздат, 1987. – 38 с.
41. *Методические рекомендации* по применению нагревательных проводов и кабелей при выполнении общестроительных работ в зимних условиях / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. – М., 1986. – 88 с.
42. *ПОТ Р М-016–2001*, РД 153-34.0-03.150–00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок / Министерство энергетики РФ. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
43. *ППБ 01–03*. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации / МЧС России, 2003.
44. *Рекомендации* по технологии возведения монолитных гражданских зданий / ЦНИИЭПжилища. – М : Стройиздат, 1987. – 88 с.
45. *Руководство* по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1982. – 213 с.
46. *Руководство* по применению бетонов с противоморозными добавками. – М. : Стройиздат, 1989. – 188 с.
47. *Руководство* по производству бетонных работ. – М. : Стройиздат, 1975. – С. 22–68.
48. *Руководство* по укладке бетонных смесей бетононасосными установками. – М. : Стройиздат, 1978. – С. 5–31.
49. *Руководство* по зимнему бетонированию с применением метода термоса. – М. : Стройиздат, 1975. – С. 6–31, 109–179.
50. *Руководство* по подбору состава тяжелого бетона. – М. : Стройиздат, 1979. – С. 9–52.

51. *Руководство по разработке технологических карт в строительстве.* – М. : ЦНИИОМТП Госстроя России, 1998. – 17 с.
52. *СНиП 3.03.01–87.* Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 1998. – 182 с.
53. *СНиП 52-01–2003.* Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М. : ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2004. – 27 с.
54. *СНиП 23-01–99*.* Строительная климатология. – М. : Госстрой России, 2000. – 135 с.
55. *СНиП 12-03–2001.* Безопасность труда в строительстве. Ч. 1. Общие требования. – М. : Госстрой РФ, 2001. – 44 с.
56. *СНиП 12-04–2002.* Безопасность труда в строительстве. Ч. 2. Строительное производство. – М. : Госстрой РФ, 2002. – 38 с.
57. *СНиП 12-01–2004.* Организация строительства. – М. : Госстрой РФ, 2004. – 24 с.
58. *СНиП II-89–80*.* Генеральные планы промышленных предприятий / Госстрой СССР, 1994.
59. *СНиП 2.09.04–87*.* Административные и бытовые здания / Госстрой СССР, 1994.
60. *СНиП 82-02–95.* Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций. – М. : Минстрой России, 1996.
61. *СП 12-135–2003.* Безопасность труда в строительстве. Отраслевые типовые инструкции по охране труда / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 2003.

Дополнительная литература

62. *Абрамов, В.С.* Электротермообработка бетона / В.С. Абрамов, И.И. Данилов, Б. М. Красновский. – М. : Наука, 1975. – С. 20–150.
63. *Арбеньев, А.С.* Проектирование технологии бетонных работ в зимних условиях / А.С. Арбеньев. – Новосибирск, 1979. – С. 64–67.
64. *Арбеньев, А.С.* Технология бетонирования с разогревом смеси / А.С. Арбеньев. – М. : Стройиздат, 1975. – 108 с.
65. *Арбеньев, А.С.* Бетонные и железобетонные работы : учебное пособие / А.С. Арбеньев. – Владимир : Изд-во Владим. гос. техн. ун-та, 1999. – 64 с.
66. *Афанасьев, Н.Ф.* Электроразогрев бетонной смеси / Н.Ф. Афанасьев. – Киев : Будивельник, 1979. – С. 12–70.
67. *Баженов, Ю.М.* Способы определения состава бетона различных видов / Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1975. – С. 44–78.
68. *Бауман, В.А.* Строительные машины / В.А. Бауман и др. – М. : Машиностроение, 1976. – С. 15–28.

69. *Бужевич, Г.А.* Испарение воды из бетона / Г.А. Бужевич // Труды НИИЖБ. – М. : Госстройиздат, 1957. Вып. 7. – С. 14–30.
70. *Булгаков, Э.Х.* Исследование некоторых свойств бетонов при раннем замораживании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1965. – 16 с.
71. *Волосян, Л.Я.* Исследование диффузии влаги в кинетике твердения высокопрочного бетона при различных способах тепловлажностной обработки / Л.Я. Волосян, В.П. Журавлева. // ИФЖ. – 1969. – XVI. – № 3. – С. 448–456.
72. *Временные* дополнительные затраты при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время. – М. : Стройиздат, 1969.
73. *Гныря, А.И.* Внешний тепло- и массообмен при бетонировании с электропрогревом смеси / А.И. Гныря. – Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1977. – 171 с.
74. *Гныря, А.И.* Технология бетонных работ в зимних условиях / А.И. Гныря. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1984. – 278 с.
75. *Гныря, А.И.* Рекомендации по бетонированию монолитных конструкций в зимнее время с применением метода термоса / А.И. Гныря, А.В. Злодеев, И.А. Боровских. – Томск : ТИСИ, 1985. – 60 с.
76. *Гныря, А.И.* Электропрогрев бетона монолитных конструкций : учебное пособие / А.И. Гныря, И.А. Подласова – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 1998. – 90 с.
77. *Горчаков, Г.И.* Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г.И. Горчаков, М.М. Канкин, Б.Г. Скрамтаев. – М. : Стройиздат, 1965. – 194 с.
78. *Данилов, Н.Н.* ТСП / Н.Н. Данилов. – М. : Стройиздат, 1977. – С. 96–209.
79. *Заседателев, И.Б.* Тепло- и массоперенос в бетоне специальных промышленных сооружений / И.Б. Заседателев, В.Г. Петров-Денисов. – М. : Стройиздат, 1973. – 168 с.
80. *Крылов, Б.А.* Факторы, влияющие на режим электропрогрева бетона в монолитных конструкциях при отрицательных температурах среды / Б.А. Крылов, В.Д. Коптелов // Бетон и железобетон, 1967. – № 10. – С. 21–24.
81. *Ларионова, З.М.* Формирование структуры цементного камня и бетона / З.М. Ларионова. – М. : Стройиздат, 1971. – 161 с.
82. *Лермит, Р.* Проблемы бетона / Р. Лермит. – М. : Госстройиздат, 1958. – 293 с.
83. *Лыков, А.В.* Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М. : Наука, 1963. – С. 48–49, 67–78.
84. *Лыков, А.В.* Явление переноса в капиллярно-пористых телах / А.В. Лыков. – М. : Гостехиздат, 1954. – С. 15–31; 138–159.
85. *Лыков, А.В.* Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. – Минск : Изд-во АН БССР, 1961. – С. 204–263.
86. *Лыков, А.В.* Теория сушки / А.В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – С. 391–458.

87. *Лыков, А.В.* Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск : Изд-во АН БССР, 1959. – С. 276–317.
88. *Миронов, С.А.* Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов. – М. : Стройиздат, 1978. – 180 с.
89. *Миронов, С.А.* Расчет охлаждения бетона на морозе с учетом влияния экзотермии / С.А. Миронов. – М. : Стройиздат, 1935. – 130 с.
90. *Мощанский, Н.А.* Плотность и стойкость бетонов / Н.А. Мощанский. – М. : Стройиздат, 1951. – С. 9–35.
91. *Мчедлов-Петросян, О.П.* Структурообразование и твердение паст и бетонов при пониженных температурах / О.П. Мчедлов-Петросян, В.А. Чернявский. – Киев : «Будивельник», 1974. – 186 с.
92. *Пауерс, Т.К.* Физические свойства цементного теста и камня / Т.К. Пауерс // Четвертый международный конгресс по химии цемента. – М. : Госстройиздат, 1964. – С. 293, 402–438.
93. *Расчет* технологических параметров способов выдерживания бетона в зимних условиях : метод. указ. Часть 1. Беспрогревные методы / сост. А.И. Гныря, А.В. Рубанов, И.А. Подласова, Х.В. Куклина. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2007. – 26 с.
94. *Расчет* технологических параметров способов выдерживания бетона в зимних условиях : метод. указ. Часть 2. Прогревные методы / сост. А.И. Гныря, А.В. Рубанов, И.А. Подласова, Х.В. Куклина. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2007. – 26 с.
95. *Романовский, С.Г.* Исследование конвективного тепломассопереноса / С.Г. Романовский и др. – Минск : Наука и техника, 1968. – С. 382–397.
96. *Садович, М.А.* Методы зимнего бетонирования : учебное пособие / М.А. Садович. – Братск : ГОУ ВПО БрГТУ, 2003. – 104 с.
97. *Шейкин, А.Е.* Специальные цементы и бетоны / А.Е. Шейкин. – Труды МИИТ, 1971. – С. 170.
98. *Хаютин, Ю.Г.* Монолитный бетон : Технология производства работ. – 2-е изд. перераб. и доп. / Ю.Г. Хаютин. – М. : Стройиздат, 1991. – 576 с.
99. *Krischer, O.* Chem. Jug Technik, 1968. – № 1–2.
100. *Koch, R.* FDJ-Forschungsheft, № 469, Ausgabe 13, Band 24, 1958.

**Таблица соотношений между некоторыми единицами физических величин,
подлежащими изъятию, и единицами СИ**

Величина	Единица				Соотношение единиц
	подлежащая изъятию	СИ		обозначение	
		наименование	наименование		
Сила, нагрузка, вес	Килограмм-сила	кгс	Ньютон	Н	1 кгс = 9,8 Н~10 Н
	Тонна-сила	тс			1 тс = 9,8·10 ³ Н~10 кН
	Грамм-сила	гс			1 гс = 9,8·10 ⁻³ Н~10 мН
Линейная нагрузка	Килограмм-сила на метр	кгс/м	Ньютон на метр	Н/м	1 кгс/м =10 Н/м
Поверхностная нагрузка	Килограмм-сила на квадратный метр	кгс/м ²	Ньютон на квадратный метр	Н/м ²	1 кгс/м ² = 10 Н/м ²
	Килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см ²	Паскаль	Па	1 кгс/см ² = 9,8·10 ⁴ Па
Давление	Миллиметр водяного столба	мм вод. ст.			1 мм вод. ст.=9,8 Па ~ ~ 10 Па
	Миллиметр ртутного столба	мм рт. ст.			1 мм рт. ст. = 1,333 Па

Величина	Единица			Соотношение единиц
	подлежащая изъятию	СИ		
		наименование	обозначение	
Механическое напряжение	Килограмм-сила на квадратный миллиметр	кгс/мм ²	Паскаль Па	1 кгс/мм ² =9,8·10 ⁵ Па = = 10 ⁷ Па = 10 МПа
Модуль продольной упругости; модуль сдвига; модуль объемного сжатия	Килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см ²		1 кгс/см ² = 9,8·10 ⁻⁴ Па = = 10 ⁵ Па = 0,1 МПа
Момент силы; момент пары сил	Килограмм-сила на метр	кгс·м	Ньютон·метр Н·м	1 кгс·м = 9,8 Н·м ~ ~ 10 Н·м
Работа (энергия)	Килограмм-сила на метр	кгс·м	Джоуль Дж	1 кгс·м = 9,8 Дж ~ ~ 10 Дж
Количество теплоты	Калория, килокалория	кал ккал	Джоуль Дж	1 кал = 4,2 Дж 1 ккал = 4,2 кДж
Мощность	Килограмм-сила на метр в секунду	кгс·м/с	Ватт Вт	1 кгс·м/с = 9,8 Вт~10 Вт
	Лошадиная сила	л. с.		1 л. с. = 835,5 Вт
	Калория в секунду	кал/с		1 кал/с = 4,2 Вт
	Калория в час	ккал/ч		1 ккал/ч = 1,16 Вт

Величина	Единица				Соотношение единиц
	подлежащая изъятию	СИ		обозначение	
		наименование	обозначение		
Удельная теплоемкость	Калория на грамм-градус Цельсия	кал/(г·°C)	Джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·K)	1 кал/(г·°C) = = 1 ккал/(кг·°C) = = 4,2 кДж/(кг·K)
	Калория на килограмм-градус Цельсия	ккал/(кг·°C)			
Теплопроводность	Калория в секунду на сантиметр-градус Цельсия	кал/(с·см·°C)	–	–	1 кал/(с·см·°C) = = 420 Вт/(м·K)
	Килокалория в час на метр-градус Цельсия	ккал/(ч·м·°C)	Ватт на метр-кельвин	Вт/(м·K)	
Коэффициент теплообмена (теплоотдачи); коэффициент теплопередачи	Калория в секунду на квадратный сантиметр-градус Цельсия	кал/(с·см²·°C)	Ватт на квадратный метр-кельвин	Вт/(м²·K)	1 кал/(с·см²·°C) = = 41,8 кВт/(м²·K) 1 ккал/(ч·м²·°C) = = 1,16 кВт/(м²·K)
	Килокалория в час на квадратный метр-градус Цельсия	ккал/(ч·м²·°C)			

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П.2.1

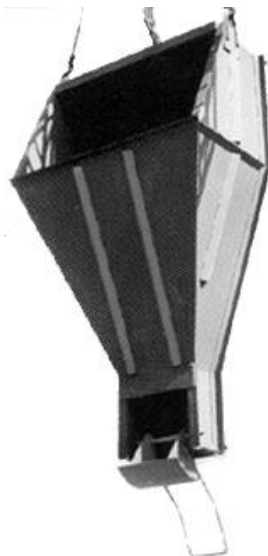
Технические характеристики вертикальных круглых неповоротных бадей БН (колокольчик) при укладке бетонной смеси



Модель	Объем, м ³	Грузо- подъем- ность, кг	Тип за- твора	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг
БН-0,5	0,5	1500	челюст- ной	1400	1400	185
БН-1,0	1,0	2500	челюст- ной	1330	1870	225
БН-1,5	1,5	3500	челюст- ной	1570	1940	310
БН-2,0	2,0	5000	челюст- ной	1570	2310	350

Таблица П.2.2

**Технические характеристики поворотных бадей БП (туфелька)
при укладке бетонной смеси**



Модель	Объём, м ³	Грузо- подъём- ность, кг	Дли- на, мм	Шири- на, мм	Высо- та, мм	Мас- са, кг	Тип за- твора
БП-0,5	0,5	1300	3260	750	1040	315	челюст- ной
БП-1,0	1,0	2500	3300	1500	1000	400	челюст- ной
БП-1,5	1,5	3400	4014	1232	1040	617	челюст- ной
БП-1,6	1,6	3500	3900	1500	1000	420	челюст- ной
БП-2,0	2,0	5000	3900	1520	1150	470	челюст- ной
БП-3,0	3,0	7000	3200	1520	1520	950	челюст- ной

Таблица П.2.3

Перестановочные ленточные конвейеры

Параметр	Единица измерения	Тип конвейера			
		ТК-14	ТК-13	ТК-12	ТК-11
Производительность	м ³ /ч	—	35	35	35
	т/ч	—	90	30	90
Высота разгрузки:	м	1,5	1,5	2,2	1,5
	м	3,8	2,1	5,5	3,8
Ширина ленты	мм	400	400	500	500
Скорость движения ленты	м/с	1,6	1,6	1,68	1,6
Габаритные размеры:	мм	10700	5300	15350	10570
	мм	1460	900	2000	1500
	мм	—	—	1600	1600
Масса	кг	700	400	1200	900
Завод-изготовитель		Днепропетровский завод строит. машин	Орский завод строит. машин		

Таблица П.2.4

Технические характеристики ленточных передвижных конвейеров

Показатели	ТК-17-2	ТК-18	ТК-19	ТК-24
Производительность конвейера, т/ч	100	100	104	112
Расстояние между центрами барабанов, м	6	10	10	14
Наибольшая высота выгрузки, м	2,6	3,9	3,8	5,1
Наименьшая высота выгрузки, м	1,55	1,8	1,8	2,2
Ширина ленты, мм	400	400	500	500
Скорость движения ленты, м/с	1,6	1,6	1,6	1,6
Мощность электродвигателя, кВт	2,2	2,2	2,2	4

Окончание табл. П.2.4

Показатели	ТК-17-2	ТК-18	ТК-19	ТК-24
Габариты, мм:				
длина	6870	10900	10850	14930
ширина	1050	1500	1570	1510
Масса конвейера, кг:				
без ленты	397	504	730	865
с лентой	445	574	830	990

Таблица П.2.5

**Технические характеристики звеньевых
ленточных конвейеров**

Показатели	ТК-21-2	ТК-21-4
Производительность горизонтального конвейера, т/ч	270	270
Расстояние между центрами барабанов, м	40	40
Высота разгрузки, м	6	18
Транспортная лента:		
тип	гладкая	гладкая
ширина, мм	650	650
скорость движения, м/с	1,5	1,5
Привод:		
тип электродвигателя	ЧА132МЧ	ЧА18054
мощность, кВт	11	22
напряжение, В	220/380	220/380
частота вращения, мин ⁻¹	1500	1500
Редуктор:		
тип	Ц2У-200	Ц2У-250
передаточное число	25	25
Роликовая опора:		
тип	Желобчатая	Трехроликовая
диаметр ролика, мм	102	102
Диаметр барабана, мм:		
приводного	500	500
натяжного	400	400

Окончание табл. П.2.5

Показатели	ТК-21-2	ТК-21-4
Максимальный угол наклона конвейера относительно горизонта, град.	18	18
Габариты, мм:		
длина	41350	81800
ширина	2640	2640
высота	965	965
Масса конвейера, кг:		
без ленты	4000	6200
с лентой	4500	7200

Таблица П.2.6

**Технические характеристики самоходных
бетоноукладчиков**

Параметр	Единица измерения	Тип бетоноукладчиков				
		УБК-132	БУ-1	БУМ-1	ЭМ-44	ЛБУ-20
Производительность	м ³ /ч	11	11	9	15	20
Базовая машина	—	Трактор ДТ-75	Трактор С-100ПГ	Погрузчик Т-107	Трактор С-100М	Экскаватор Э-362
Длина стрелы ленточного конвейера	м	14,9	12,6	10	16	21
Вылет стрелы	м	11	10	10	14	3–20
Угол поворота стрелы	град	100	150	200	180	360
Угол подъема стрелы	град	20	15	10	10	60
Высота подачи бетонной смеси	м	5,5	до 3	2,8	до 5,5	до 8
Вместимость приемного бункера	м ³	1,6	2,4	1,6	1,6	3,2
Габариты:						
длина (при максимальном вылете стрелы)	мм	18900	12600	16870	22170	25100
ширина	мм	2400	2900	2800	2900	2900
высота	мм	4700	2800	3300	3920	3950

Таблица П.2.7

Вибропитатель

Параметры	Единица измерения	Размерность
Вместимость (объем)	м ³	1,6
Угол наклона днища	град	10
Ширина загрузочной части	мм	2400
Вибраторы: тип количество	— шт.	С-414А(ИБ-2А) 2
Мощность	кВт	2×0,6
Частота колебаний	мин ⁻¹	2800
Размеры выходного отверстия: ширина высота	мм мм	360 325
Габаритные размеры: длина ширина высота	мм мм мм	3000 2520 1050
Масса	кг	759

Таблица П.2.8

Вибролотки

Длина, мм	Расстояние от конца вибро- лотка до оси вибратора, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Радиус за- кругления	Толщина листа, мм	Масса, кг
С круговыми колебаниями						
6000	1500	280	290	140	3	234
4000	1000	290	290	140	3	181
С продольно-направленными колебаниями						
6000	Вибратор крепится с загрузочного торца	280	290	140	2	203
4000		280	290	140	2	160

Таблица П.2.9

Виброхоботы

Параметр	Единица измерения	Тип виброхобота		
		Т-165Д	С-896	С-579А
Глубина опускания бетонной смеси	м	до 40	до 40	до 80
Внутренний диаметр хобота	мм	300	350	350
Максимальная крупность заполнителя бетонной смеси	мм	120	150	150
Консистенция бетонной смеси, транспортируемой виброхоботом	см	ОКЗ	ОК1	ОКЗ
Емкость виброхобота при максимальной длине	м ³	–	5,7	9
Возможное отклонение от вертикали (при максимальной высоте)	м	15	–	16
Емкость загрузочной воронки	м ³	1	1,5	1,5
Количество секций:				
верхних с тросом Ø32 мм	шт.	–	1	1
средних Ø32 мм	шт.	–	2	5
нижняя шарнирная из облегченных звеньев	шт.	–	–	–
Вибраторы:				
мощность	кВт	0,4	0,4	0,4
напряжение	В	36	36	380
количество	шт.	8	8	20

Таблица П.2.10

Основные типы бетононасосов и пневмонагнетателей

Тип	Принцип работы	Техническая характеристика
Поршневой бетононасос с механическим приводом	Мощность от двигателя через передачу, включающую вал и кривошипно-шатунный механизм, передается на поршень, совершающий возвратно-поступательное движение. При этом происходит засасывание бетонной смеси из бункера и нагнетание ее в бетоновод. Соединение и разобшение рабочего цилиндра бункера и бетоновода осуществляется клапанами, обычно, пробкового типа. Клапаны приводятся в действие от коленчатого вала при помощи системы специальных тяг	Производительность (нерегулируемая или труднорегулируемая) до 40 м ³ /ч; давление до 30 атм; частота движения поршня до 50 дв. ходов/мин; дальность подачи по горизонтали до 40 м; число цилиндров 1–2
Шланговый бензонасос с гидравлическим приводом	Обрезиненные ролики обжимают резиновый шланг, уложенный в цилиндрической камере, выжимают бетонную смесь из него в бетоновод и одновременно создают в нем вакуум для всасывания бетонной смеси из бункера. Клапаны у насоса отсутствуют	Производительность регулирования до 66 м ³ /ч; дальность подачи до 135 м; высота подачи до 45 м при диаметре трубопровода 100 мм
Бетононасос с водяным гидравлическим приводом и гибкой связью между поршнями	Отличается от предыдущих постоянным числом цилиндров (2), поршни которых связаны посредством тросово-блочной системы, что обеспечивает принудительное возвращение поршней в исходное положение (холостой ход). Клапанная система в виде плоских шиберов, поворотных труб и заслонок	Производительность до 160 м ³ /ч; давление до 42 атм; дальность подачи до 300 м; высота подачи до 30 м; число цилиндров 2
Бетононасос с масляным гидравлическим приводом и жесткой связью поршней	Поршни рабочих цилиндров приводятся в движение поршнями гидравлических (приводных) цилиндров, с которыми они связаны штоками. Клапанная система в виде плоских шиберов или поворотных труб и заслонок. Подача масла в гидравлические цилиндры осуществляется шестеренными или аксально-плунжерными насосами	Производительность регулируемая до 120 м ³ /ч; давление до 75 тм; дальность подачи до 115 м; число цилиндров 1–2

Тип	Принцип работы	Техническая характеристика
Бетононасос с водяным гидравлическим приводом и свободноплавающими поршнями	Бетонная смесь вытесняется в бетоновод из цилиндра и засасывается в него из бункера поршнем, приводимым в движение рабочей жидкостью (водой). Вода нагнетается или отсасывается с одной стороны поршня в рабочий цилиндр. Клапанная система выполняется обычно в виде плоских шиберов. Подача воды осуществляется многоступенчатым центробежным насосом	Производительность до 50 м ³ /ч; дальность подачи до 400 м, высота подачи до 60 м при диаметре бетоновода до 180–204 мм

Таблица П.2.11

**Технические характеристики автобетононасосов
отечественного производства**



Параметры	АБН 75/21	АБН 75/32	АБН 75/33	АБН 75/37	АБН 75/42
Производительность, м³/ч	75–90				
Макс. высота подачи смеси от уровня земли, м	21	32	33	37	42
Количество секций	3	4			5
Тип привода	Гидравлический				

Окончание табл. П.2.11

Параметры	АБН 75/21	АБН 75/32	АБН 75/33	АБН 75/37	АБН 75/42
Модель шасси КАМАЗ	53215- 1069-15	53229- 1040- 15	53229- 1040- 15	6540- 1910- 15	65201- 1950
Высота загрузки б. смеси, мм	1400			1450	1400
Диаметр бетоновода, мм	125				
Объем приемной воронки, м³	0,7				
Угол поворота стрелы, °С: в вертикальной плоскости в горизонтальной плоскости	90 355	90 380	109 365	100 365	96 365
Подвижность перекачиваемой бетонной смеси (осадка стандартного конуса), см	6–12				
Максимальное давление на бетонную смесь, МПа	7,5				
Крупность заполнителя бетонной смеси, мм	50				
Масса технологического оборудования, кг	9500	15000	16590	22000	20250
Масса полная, кг	16550	23500	24250	30850	31310
Распределение нагрузок от полной массы АБН, кг: на переднюю ось на задний мост	4550 12000	5560 17940	5550 18700	12050 18800	11820 19490
Габаритные размеры, см	1000× ×250× ×380	1030× ×250× ×380	1095× ×250× ×382	1200× ×250× ×395	1200× ×250× ×395

Таблица П.2.12

Технические характеристики автобетононасосов CIFA (Италия)



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
KZR-24	87	7,3	23,59	19,9	4	125	550
K31 XZ	87 150 / 90	7,3 5,3 / 9,5	30,5	26,2	5	125	550
K2-X32	87 150 / 90	7,3 5,3 / 9,5	31,73	27,9	4	125	550
K35L XZ	140 150 / 90	8,0 5,3 / 9,5	34,4	30,1	5	125	550 600
INVETT A 36-X	78	6,6	35,46	32,48	4	125	550
K36XZ	87 150 / 90 179 / 105	7,3 5,3 / 9,5 7,6 / 13,0	35,6	31,4	4	125	550 650
K48XR Z	150 / 90 179 / 105	5,3 / 9,5 7,6 / 13,0	47,2	43,2	5	125	550 650
K52L XRZ	150 / 90 179 / 105	5,3 / 9,5 7,6 / 13,0	51,1	46,8	6	125	550 650
K58L XRZ	150 / 90 179 / 105	5,3 / 9,5 7,6 / 13,0	57,1	52,8	6	125	550 650

Примечание. Бетононасосы CIFA монтируются на шасси MAN, VOLVO, Mercedes Benz, MAЗ, Урал.

Таблица П.2.13

Технические характеристики автобетононасосов МЕСВО (Италия)



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
AUT P4.65-28/28T-4	65	8,0	28/32	23,9	4	125	480
AUT P6.90-28/28T-4	90	8,0	28/32	23,9	4	125	480
AUT P6.90-33-4	90	8,0	33	28,8	4	125	480
AUT P7.150-33-4	150	8,0	33	28,8	4	125	480
AUT P6.90-35-5	90	8,0	35	30,6	5	125	480
AUT P7.150-35-5	150	8,0	35	30,6	5	125	480
AUT P6.90-37/37T-4	90	8,0	37/41	32,6	4	125	480
AUT P7.150-37/37T-4	150	8,0	37/41	32,6	4	125	480
AUT P6.90-39-4	90	8,0	39	34,6	4	125	480
AUT P7.150-39-4	150	8,0	39	34,6	4	125	480
AUT P7.150-42-5	150	5,0	42	36,7	5	125	480
AUT P7.150-47-5	150	5,0	47	41,9	5	125	480
AUT P7.150-53-5	150	5,0	53	48,5	5	125	480

Таблица П.2.14

**Технические характеристики автобетононасосов
SERMAC, Вортингтон (Италия)**



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
4ZR21	60/80/100	6,1/6,9	20,30	16,3	4	125	400/550/550
4Z26	130/149/184	6,1/7,6	26,00	21,9	4	125	600
5Z32	130/149/184	6,1/7,6	31,80	27,6	5	125	600
5Z35	100	6,1	35,10	31,1	5	100	600
4Z36	130/149/184	6,1/7,6	36,00	31,85	4	125	600
5Z37	130/149/184	6,1/7,6	37,00	33,0	5	125	600
5Z41	130/149/184	6,1/7,6	41,00	36,8	5	125	600
4R42	130/149/184	6,1/7,6	42,00	38,6	4	125	600
4R32	130/149/184	6,1/7,6	31,60	27,6	4	125	600
4R37	130/149/184	6,1/7,6	36,80	32,8	4	125	600

Окончание табл. П.2.14

Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давле-ние на бетон, МПа	Макс. высота пода-чи, м	Макс. даль-ность пода-чи, м	Число секций стрелы	Диа-метр бето-ново-да, мм	Объем при-емно-го бунке-ра, л
5RZ48	130/149/184	6,1/7,6	48,00	43,2	5	125	600
5RZ50	130/149/184	6,1/7,6	50,00	45,2	5	125	600
5RZ53	130/149/184	6,1/7,6	52,80	48,5	5	125	600
6RZ65	130/149/184	6,1/7,6	64,50	60,0	5	125	600

Таблица П.2.15

Технические характеристики автобетононасосов COIME (Италия)



Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давле-ние на бетон, МПа	Макс. высота пода-чи, м	Макс. даль-ность пода-чи, м	Число секций стрелы	Диа-метр бето-ново-да, мм	Объем при-емно-го бунке-ра, л
24-4-125	100	8,0	23,6	19,6	4	125	450
28-4-125	100	8,0	28,0	24,4	4	125	450
33-4-125	130	8,0	33,0	29,4	4	125	500
35-5-125	150	8,0	35,0	31,2	5	125	500
36-5-112	150	7,6	36,0	32,2	5	112	500

Окончание табл. П.2.15

Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давле-ние на бетон, МПа	Макс. высота пода-чи, м	Макс. даль-ность пода-чи, м	Число секций стрелы	Диа-метр бето-ново-да, мм	Объем при-емно-го бунке-ра, л
37-4-125	150	8,0	36,6	32,6	4	125	500
39-4-125	150	8,0	39,0	35,4	4	125	500
41-5-125	150	8,0	41,0	37,4	5	125	500
42-5-125	150	8,0	42,0	38,4	5	125	500
46-6-125	150	7,6	45,5	41,8	6	112	500
47-5-125	150	7,6	47,0	43,4	5	125	500
50-6-112	150	7,6	49,5	45,7	6	112	500
52-5-125	150	7,6	52,0	48,4	5	125	500
58-5-125	150	10,0	57,2	52,2	5	125	500

Таблица П.2.16

Технические характеристики автобетононасосов Putzmeister (Германия)



Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давле-ние на бетон, МПа	Макс. высота пода-чи, м	Макс. даль-ность пода-чи, м	Число секций стрелы	Диа-метр бето-ново-да, мм	Объем при-емно-го бунке-ра, л
М 20-4	90	7,1	20,0	16,4	3	125	—
М 24-4	90/110/ 140/160	7,1/7,8/ 7,0/8,5	23,6	19,7	4	125	—

Окончание табл. П.2.16

Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давле-ние на бетон, МПа	Макс. высота пода-чи, м	Макс. даль-ность пода-чи, м	Число секций стрелы	Диа-метр бето-ново-да, мм	Объем при-емно-го бунке-ра, л
М 28	90/110/ 140/160	7,1/7,8/ 7,0/8,5	27,6	23,8	4	125	—
М 31	140/160	7,0/8,5	30,5	26,6	5	125	—
М 32	90/140/ 160	7,1/7,0 /8,5	31,9	28,0	4	125	—
М 36	90/110/ 140/160	7,1/7,0/ 8,5/8,5	35,6	31,7	4	125	—
М 38	140/160/ 160	11,2/ 13,0/8,5	37,1	33,1	4	125	—
М 42	140/160/ 160	7,0/8,5 /8,5	41,9	38	4	125	—
М 42-5	140/160/ 160	7,0/8,5 /8,5	41,6	37,6	5	125	—
М 46-5	140/160/ 160	7,0/8,5 /8,5	45,1	41,1	5	125	—
М 47-5	140/160/ 160	11,2/ 13,0/8,5	46,1	42,1	5	125	—
М 52	160/160/ 200	8,5/8,5 /8,5	52,0	48,1	5	125	—
М 58-5	160/160/ 200	13,0/ 8,5/8,5	57,1	53,1	5	125	—
М 62	200	8,5	61,6	57,6	6	125	—

Таблица П.2.17

Технические характеристики автобетононасосов SCHWING Stetter (Германия)



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
KVM 34 X 2023-150 на базе МАЗа	150	—	34,0	30,0	—	125	—
S 17	90/96/136/164	10,8/8,5/8,5/8,5	17,0	13,4	3	125	500
S 24	96/136/164	10,8/8,5/8,5/8,5	23,5	19,5	3	125	500
S 28 X	96/136/164	10,8/8,5/8,5/8,5	27,7	23,7	4	125	500
S 31 XT	96/136/164	10,8/8,5/9,5	30,5	26,5	4	125	500
S 34 X	96-164	8,5/9,5	34,0	30,0	4	125	500
S 36 SX	96/136/164	8,5/9,5	36,1	32,0	4	125	500
S 39 SX	96/136/164	8,5/8,5	38,7	34,7	4	125	500
S 42 SX	96/136/164	8,5/9,5	41,8	38,1	4	125	500
S 45 SX	96/136/164	8,5/9,5	44,7	40,9	4	125	500
S 47 SX	96/136/164	8,5/9,5	46,4	42,6	4	125	500
S 52 SX	150/138/163	9,5*/8,5/8,5	52,0	48,2	5	125	500

Окончание табл. П.2.17

Модель	Макс. теоретич. производ-ть, м ³ /ч	Макс. давлени-е на бетон, МПа	Макс. высо-та пода-чи, м	Макс. даль-ность подачи, м	Число секций стрелы	Диа-метр бетоно-вода, мм	Объем прием-ного бунке-ра, л
S 55 SX	138/163	8,5/8,5	54,5	50,7	5	125	500
S 58 SX	138/163	8,5/8,5	57,3	53,4	4	125	500
S 61 SX	138/163	8,5/8,5	60,1	56,3	4	125	500

Таблица П.2.18

Технические характеристики автобетононасосов WAITZINGER (Германия)



Модель	Макс. теоретич. производ-ть, м ³ /ч	Теоретическое низ-кое/высокое давление накачива-ния, МПа	Макс. высота пода-чи, м	Макс. даль-ность подачи, м	Число секций стрелы	Диа-метр бето-новода, мм	Объем прием-ного бункера, л
THP 110 / 28 Z4 XT	111	7,5/12,5	27,6	24,3	4	125	600
THP 110 / 37 R4 ST	111	7,5/12,5	36,6	32,9	4	125	600
THP 125 / 42 R4 XXT	125	5,5/9,5	42,0	38,0	4	125	600

Окончание табл. П.2.18

Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Теоретическое низкое/высокое давление накачивания, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
THP 140H / 44 R5 ST	140	8,0/11,9	44,0	40,0	5	125	600
THP 160 / 52 M5 ST	160	8,0/11,9	51,5	47,5	5	125	600

Таблица П.2.19

Технические характеристики автобетононасосов REED (США)



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
ST48R5	125	8,5	47,7	43,8	5	125	600
XT36R-160	125	5,7	35,8	32,0	4	125	650
XT39R4	125	8,5	38,6	34,7	4	125	600
XXT42R	154	9,0	42,0	38,0	4	125	650
XXT42R Z	154	9,0	41,58	37,6	5	125	650

Таблица П.2.20

**Технические характеристики автобетононасосов
EVERDIGM (Южная Корея)**



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
24ZX	90	7,0	23,04	19,08	4	125	600
28ZX	90	7,0	27,6	23,8	4	125	500
32RX / 32RS	130	5,4	31,9	28,2	4	125	760/600
33CX-5	130	5,4	32,6	28,06	5	125	600
36RX	140	8,5	35,6	32	4	125	600
36ZX / 36ZT	140	8,5	35,5	31,05	4	125	600
37ZX	150	8,5	36,4	32,7	4	125	600
40RX/40RT	150	8,5	39,5	35,5	4	125	600
43RX	150	8,5	42,1	38,1	4	125	600
43CX-5	150	8,5	42,1	38,1	5	125	600
50CS-5	150	8,5	49,5	45,3	5	125	600

Таблица П.2.21

**Технические характеристики автобетононасосов
КейСиПи (Южная Корея)**



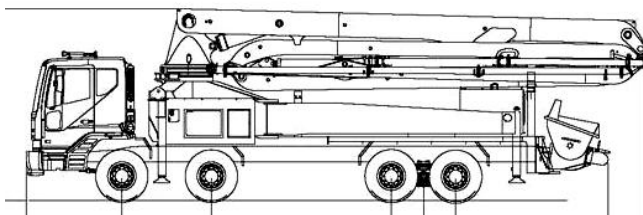
Модель	Макс. теоретич. производ-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоно-вода, мм	Объем приемного бункера, л
КСР28ZX	105	6,9	27,8	24,0	4	125	600
КСР32RZ	170	7,2	31,6	27,7	5	125	600
КСР33RX	170	7,2	33,0	29,5	4	125	600
КСР36	170	7,2	35,7	32,0	4	125	600
КСР36RX	170	7,2	36,0	32,2	4	125	600
КСР36ZX	170	7,2	35,7	32,0	4	125	600
КСР38RX	170	7,2	37,9	34,0	4	125	600
КСР38ZX	170	7,2	37,8	34,0	4	125	600
КСР40RX	170	7,2	39,9	35,7	4	125	600
КСР45ZX	170	7,2	44,3	40,5	5	125	600
КСР48ZX	170	7,2	47,1	43,3	5	125	600
КСР50ZX	170	7,2	49,4	45,6	5	125	600

Окончание табл. II. 2.21

Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
KCP52ZX	225	8,75	51,3	47,5	5	125	600
KCP60ZS	225	8,75	59,5	55,9	5	125	600
KCP65ZS	225	8,75	64,4	60,6	5	125	600

Таблица II.2.22

**Технические характеристики автобетононасосов
DOOSAN-DAEWOO (Южная Корея)**



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
DCP 40-15X	150	8,5	39,5	35,5	4	125	600
DCP 37XZ	150	8,5	36,4	32,7	4	125	600
DCP 43-15X	160	8,5	42,1	38,1	4	125	600
DCP 50X	160	8,5	49,5	45,3	4	125	600

Таблица П.2.23

Технические характеристики автобетононасосов SANY (КНР)



Модель	Производительность при низком/высоком давлении, м ³ /ч	Теоретическое высокое/низкое давление налива, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
SY5311 THB-37	120/67	11,8/6,0	36,6	32,6	4	125	600
SY5392 THB-42	120/67	11,8/6,4	41,7	38,0	4	125	600
SY5411 THB-45	120/67	11,8/6,4	44,8	40,8	5	125	600
SY5410 THB-48	120/67	11,8/6,4	47,8	43,8	5	125	600
SY5500 THB-56	120/67	11,8/6,4	55,6	51,6	5	125	600
SY5480 THB-52	120/67	12,0/8,5	51,8	47,78	5	125	900

Таблица П.2.24

Технические характеристики автобетононасосов ZOOMLION (КНР)



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Число секций стрелы	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемного бункера, л
ZLJ5292/3TH B125-37	120	6,5	36,6	32,6	4	125	—
ZLJ5392/3TH B125-44	120	6,5	44,0	40,0	4	125	—

Таблица П.2.25

Технические характеристики стационарных бетононасосов отечественного производства



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Подвижность перекачиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
BN 20D (СБ-207А)	20	6,0	40	160-340	6–12	125	0,45
BN 20E (СБ-207)	20	6,0	40	160-340	6–12	125	0,45

Окончание табл. П.2.25

Модель	Макс. теоретич. производительность, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Подвижность перекачиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
БН-25 Д	25	6,0	120	520	от 9	125	0,4
БН-25 Е	25	6,0	120	520	от 9	125	0,4
БН-40	40	7,5	120	520	от 9	125	0,6
БН-65.18 (БН-80)	45	10,5	120	300	6–12	125	0,6
ВН 70D (БН - 70Д)	75	11	80–130	300–600	6–12	125	0,7

Примечание. Наибольшая крупность заполнителя до 50 мм.

Таблица П.2.26

Технические характеристики стационарных бетононасосов Эстромат, VELZENER (Германия)



Модель	Макс. теоретич. производительность, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Наибольшая крупность заполнителя, мм	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
260-DS5-3	4–5	7,0	80	150	до 16	125	0,22
260E	3–5	7,0	70	120	до 12	125	0,22

Таблица П.2.27

**Технические характеристики стационарных бетононасосов
WAITZINGER (Германия)**



Модель	Макс. теоретич. производ-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Наибольшая крупность заполнителя, мм	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
THP 60D / E	62/59	8,0/ 12,0	150	500	до 32	125	0,6
THP 70D / E	71/68	8,0/ 12,0	160	500	до 32	125	0,6
THP 80D / E	87/85	7,5/ 12,5	160	500	до 32	125	0,6
THP 80 DH	79	10,5/ 16,0	300	850	до 32	125	0,6
THP 110D / E	115/ 113	7,5/ 12,5	180	500	до 32	125	0,6
THP 145D / E	146	5,5/ 9,5	130	500	до 32	125	0,6

Таблица П.2.28

Технические характеристики стационарных бетононасосов SCHWING Stetter (Германия)



Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Высота загрузки бетона, мм	Диаметр бетоно-вода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
SP 305	23	4,3	60	244	1120	125	–
SP 500	35	7,6	100	354	1220	125	–
SP 750	38-54	7,6	100	354	1300	125	0,31
SP 1400	52*/ 34**	63*/99**	–	–	–	125	–
SP 1800	73*/ 42**	56*/ 101**	–	–	1400	150	0,57
SP 2800	101*/ 58**	60*/ 108**	–	–	1385	150	0,57
SP 3800	95*/ 58**	81*/ 137**	–	–	1420	150	0,6
SP 4800	81*/ 53**	104*/ 163**	–	–	1410	150	0,6
SP 8800	94*/ 63**	156*/ 243**	–	–	1550	150	0,6

Примечание. * – подключение со стороны штока гидроцилиндров; ** – подключение со стороны поршня гидроцилиндров.

Таблица П.2.29

Технические характеристики стационарных бетононасосов PUTZMEISTER (Германия)



Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давле-ние на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. даль-ность подачи, м	Подвиж-ность перека-чиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетоно-вода, мм	Объем прием-ной ворон-ки, м куб.
P 715 TD/TE	20/ 16,5	7,0	60	80	6–12	125	–
BSA 1005 D	54	5,9	50	80–90	6–12	125	–
BSA 1005 D-SV	54	5,9	50	80–90	6–12	125	–
BSA 1005 E	47	5,5	50	80–90	6–12	125	–
BSA 1407 D	71/47	7,1/10,6	100	250	6–12	125	–
BSA 1408 E	79/53	7,1/10,6	100	250	6–12	125	–
BSA 1409 D	94	10,6	100	250	6–12	125	–
BSA 2109 H-D	95/57	9,1/15,2	130	350	6–12	125	–
BSA 2109 H-E	85/51	9,1/15,2	130	350	6–12	125	–
BSA 2110 HP-D	102/ 70	15,0/22,0	180	400	6–12	125	–
BSA 14000 HP-D	102/ 70	15,0/22,0	350	1000	6–12	125	–
BSA 14000 HP-E	95/65	15,0/22,0	350	1000	6–12	125	–

Примечание. D – дизельный привод; E – электропривод; HP – повышенное давление; SV – пониженный уровень шума.

Таблица П.2.30

Технические характеристики стационарных бетононасосов SERMAC, Вортингтон (Италия)



Модель	Макс. теоретич. произ-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Подвижность перекачиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
SCC 40 C	35	8,7	—	—	6–12	—	0,4
SCH 60 C	60/43	6,9/10,8	—	—	6–12	—	0,4
SCM 65 CHP	65/40	10,0/17,1	—	—	6–12	—	0,6
SCM 80 C	83/51	8,1/13,7	—	—	6–12	—	0,6
SCL 80 CHP	84/51	10,0/17,1	—	—	6–12	—	0,6
SCL 100 C	104/63	8,1/13,7	—	—	6–12	—	0,6
SCL 100 CHP	101/60	10,0/17,1	—	—	6–12	—	0,6
SCL 120 C	124/75	8,1/13,7	—	—	6–12	—	0,6

Таблица П.2.31

Технические характеристики стационарных бетононасосов МЕСВО (Италия)

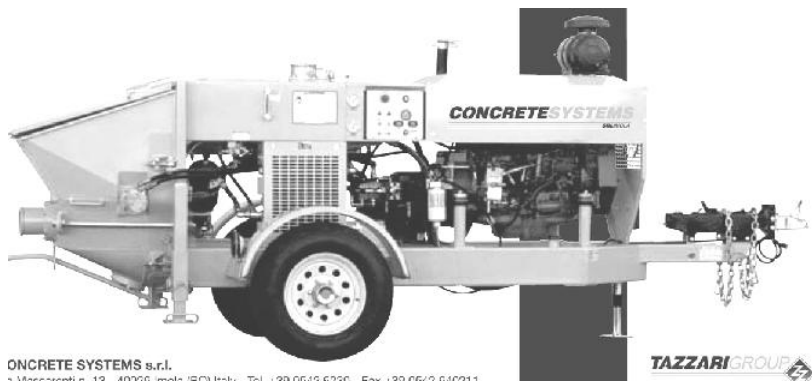


Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Подвижность перекачиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетонновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
Р 4.25	22*/15**	5*/7**	75	350	6–12	125	450–500
Р 4.30	30*/22**	5*/7**	80	400	6–12	125	450–500
Р 4.40	55*/40**	5*/7,5**	90	500	6–12	125	450–500
Р 4.65	73*/60**	5,5*/8,5**	130	550	6–12	125	450–500
Р 4.65 S	77*/65**	7,5*/12**	180	950	6–12	125	450–500
Р 6.100	115*/90**	9*/14**	200	1100	6–12	125	450–500
Р 7.150	150**	15,5**	270	2000	6–12	125	450–500

Примечание. * – подключение со стороны штока гидроцилиндров; ** – подключение со стороны поршня гидроцилиндров.

Таблица П.2.32

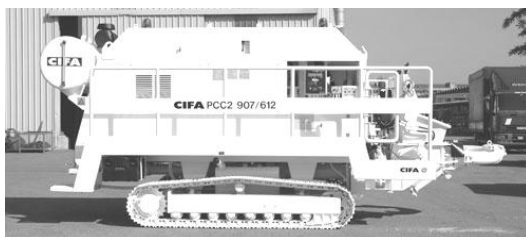
**Технические характеристики стационарных бетононасосов
CONCRETE SISTEMS (Италия)**



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Подвижность перекачиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетоноводов, мм	Объем приемной воронки, м куб.
CS 38M	38	6,2	76	305	6–12	150	0,283
CS 46M	46	6,2	76	305	6–12	150	0,283

Таблица П.2.33

**Технические характеристики стационарных бетононасосов
CIFA (Италия)**



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Гранулометрический состав смеси, мм	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
PC-307	30	7	120	500	0–50	100/125	0,3
PC-506	52	5,7	100	400	0–50	100/125	0,35
PC-309	34	9,1	160	650	0–50	125	0,35
PC-607	65	7,2	120	500	0–50	125	0,4
PC-411	43	11,2	180	800	0–50	125	0,4
PC-709	70	9,4	160	670	0–50	125	0,4
PC-415	46	15	220	1000	0–50	125	0,4
PC-707	65	7,3	120	500	0–50	125	0,45
PC-907	87	7,3	120	500	0–50	125	0,45
PC-612	56	11,6	180	800	0–50	125	0,45

Таблица П.2.34

**Технические характеристики стационарных бетононасосов
COIME (Италия)**



Модель	Макс. теоретич. производительность, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Гранулометрический состав смеси, мм	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
2010	70	5	100	400	0–50	125	0,4
2320Н	110	6	120	500	0–50	125	0,5

Таблица П.2.35

Технические характеристики стационарных бетононасосов REED (США)



Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давле-ние на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. даль-ность пода-чи, м	Подвиж-ность перека-чивае-мой бетонной смеси, см	Диа-метр бетоно-вода, мм	Объем прием-ной ворон-ки, м куб.
A30	23	6,2	107	274	6–12	100/125	0,283
A30HP	23	6,2	107	274	6–12	100/125	0,283
A40HP	31	8,1	122	297	6–12	100/125	0,283
B20	15	11,5	213	503	6–12	100/125	0,283
B20HP	15	14,5	267	670	6–12	100/125	0,283
B50	38	9,4	137	365	6–12	100/125	0,34
B50HP	38	9,4	137	365	6–12	100/125	0,34
B60	46	8,1	114	290	6–12	100/125	0,34
B70	54	6,9	91	228	6–12	100/125	0,4
C50S	38	11,4	175	434	6–12	100/125	0,34
C50SS	41	13,8	244	610	6–12	100/125	0,34
C70S	54	8,4	130	305	6–12	100/125	0,41
C70SS	56	10,2	168	411	6–12	100/125	0,41
C90S HV	69	6,2	168	411	6–12	100/125	0,41
C90S HP	56	10,2	130	305	6–12	100/125	0,41

Таблица П.2.36

Технические характеристики стационарных бетононасосов EVERDIGM (Южная Корея)



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Подвижность перекачиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
ЕТР 970	89*/ 61**	7,1*/ 10,6**	115*/ 194**	231*/ 451**	6–12	150	0,6
ТР1017	100*/ 60**	16,9*/ 27,7**	252	630	6–12	150	0,6
ТР1012	90*/ 60**	7*/ 10,6**	145	330	6–12	150	0,6
ТР1015	110*/ 70**	15*/ 22**	220	560	6–12	150	0,6

Примечание. * – подключение со стороны штока гидроцилиндров; ** – подключение со стороны поршня гидроцилиндров.

Таблица П.2.37

**Технические характеристики стационарных бетононасосов
ZOOMLION (КНР)**



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Подвижность: возможность перекачиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
HBT 60.10.75 S	63/33	10,0/5,0	200	1000	6–12	125	0,6
HBT60.13.112RS	64/39	12,5/7,3	250	1000	6–12	125	0,6
HBT80.13.161RS	95/58	13,0/7,0	–	–	6–12	125 / 150	0,6
HBT105.21.286RS	105/65	21,0/13,0	450	2200	6–12	125 / 150	0,9
HBT60.13.90SB	69/43	13,0/7,0	250	1000	6–12	125	0,6
HBT80.18.200S	79/38	18,0/8,0	600	600	6–12	125	0,6

Таблица П.2.38

**Технические характеристики стационарных бетононасосов
SANY HOLDING CO., LTD (KHP)**



Модель	Макс. теоретич. про-изв-ть, м ³ /ч	Макс. давле-ние на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. даль-ность подачи, м	Подвиж-ность перека-чиваемой бетонной смеси, см	Диаметр бетоно-вода, мм	Объем прием-ной воронки, м куб.
HBT 40C-1410D III	34,65–50,6	6,32–9,88	150	500	6–12	125 150	0,55
HBT 50C-1413 III	40–65	8,8–13	200	700	6–12	125 150	0,7
HBT 60C-1816D III	45–75	10–16	250	850	6–12	125 150	0,6
HBT 80C-1818D III	50–85	10–18	320	1000	6–12	125 150	0,6
HBT 120C-2120D III	75–120	13–21	380	1350	6–12	125 150	0,7
HBT 90CH-2122D III	60–90	14–22	420	1750	6–12	125 150	0,7
HBT60A-1406D III	70	7	100	400	6–12	125 150	0,6
HBT120A-1410D	33–50	6,3–9,9	150	600	6–12	125 150	0,6
HBT120A-1613D	90	12,1	120	1000	6–12	125 150	0,9

Таблица П.2.39

**Технические характеристики стационарных бетононасосов
Ca-Long (КНР)**



Модель	Макс. теоретич. производительность, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Гранулометрический состав смеси, мм	Диаметр бетоновода, мм	Объем приемной воронки, м куб.
60.13.90S	69	13	250	1000	0–50	125/150	0,8
80.16.110S	87	16	300	1200	0–50	125/150	0,8

Таблица П.2.40

**Технические характеристики
автобетононасоса-смесителя АБНС-29 (Россия)**



Параметры	Значение
Тип базового шасси	КАМАЗ-652001
Тип привода	гидравлический
Производительность (max) техническая на выходе из распределительного устройства, м ³ /ч, не менее	50
Мощность установленная, кВт	125
Давление (max) на бетонную смесь, развиваемое бетонотранспортным поршнем на выходе из распределительного устройства, МПа	5
Максимальная высота подачи бетонной смеси от уровня земли, м	28,4
Длина стрелы, м	24
Максимальный угол поворота по горизонту, градус	370
Количество секций стрелы	4
Тип раскладывания стрелы	Z
Максимальная высота раскладывания, м	6,43
Объем загрузочной воронки, м ³	0,4
Высота загрузки, мм	1450
Диаметр бетоновода (внутренний), мм	125
Полезная емкость смесительного барабана, м ³	8
Геометрический объем смесительного барабана, м ³	14
Вместимость бака для воды, л	600
Масса технологического оборудования, кг	12 150

Окончание табл. П.2.40

Параметры	Значение
Полная масса автобетононасоса-смесителя, кг	41 050
Распределение нагрузок от полной массы автобетононасоса, кг:	
на передние оси	15 000
на заднюю тележку	26 050
Габаритные размеры, мм	10100×2500×4000

Таблица П.2.41

**Технические характеристики
автобетононасоса-смесителя CIFA (Италия)**



Модель	Макс. теоретич. произв-ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Объем бетоносмесителя, м ³
МК 20.4Z	41	5,2	19,1	15,5	7
МК 24.4Z	61	7,1	23,5	19,5	7 10
МК 28L	61 81	7,1 5,6	28,1	24,1	7 10
МК 32L	61 81	7,1 5,6	31,2	27,2	10

Таблица П.2.42

**Технические характеристики автобетононасоса-смесителя
SERMAC, Вортингтон (Италия)**



Параметры	Модель		
	3Z24	4Z28	4Z33
Количество секций распределительной стрелы	3	4	4
Тип складывания распределительной стрелы	z	z	z
Высота подачи	24 м	28 м	32,2 м
Дальность подачи по горизонтали	20 м	24 м	28,2 м
Глубина подачи	–13,70 м	–18 м	–22 м
Высота, требуемая для складывания	6900 мм	6350 мм	7400 мм
Вращение	370°	370°	365°
Соединение секций	106°–180°–265°	90°–180°–255°–260°	90°–180°–225°–260°
Диаметр бетоновода	100 мм	100 мм	112,5 мм
Производительность	73 м ³ /ч (95 ц/ч)	73 м ³ /ч (95 ц/ч)	73 м ³ /ч (95 ц/ч)
Давление подачи	54 бар 882 p.s.i	54 бар 882 p.s.i	54 бар 882 p.s.i
Максимальное количество ходов со стороны штока	48/мин	48/мин	48/мин

Окончание табл. П.2.42

Параметры	Модель		
	3Z24	4Z28	4Z33
Диаметр цилиндра	180 мм	180 мм	180 мм
Ход поршня	1000 мм	1000 мм	1000 мм
Привод	Механизм отбора мощности/вспомогательный дизельный двигатель	Механизм отбора мощности/вспомогательный дизельный двигатель	Механизм отбора мощности/вспомогательный дизельный двигатель
Объем загрузочного бункера	450 л	450 л	450 л

Таблица П.2.43

Технические характеристики автобетононасоса-смесителя МЕСВО (Италия)



Тип установки	Производительность куб. м/ч	Вертикальная дотягаемость, м	Кол-во секций
АТВ Р4.23/3-7	40/65	23	3
АТВ Р4.29/4-7	40/65	29	4
АТВ Р4.30/4-7	40/65	30	4

Таблица П.2.44

**Технические характеристики автобетононасоса-смесителя
WAITZINGER (Германия)**



Модель	Макс. теоретич. произв- ть, м ³ /ч	Макс. давление на бетон, МПа	Макс. высота подачи, м	Макс. дальность подачи, м	Объем бе- тоносмеси- теля, м ³
ТНМ 55	55	—	24	20	7
ТНМ	80	—	29	24	9

Таблица П.2.45

**Технические характеристики автобетононасоса-смесителя
PUTZMAISTER (Германия)**



Тип насоса	Произ- води- тель- ность, м ³ /ч	Макс. высо- та пода- чи, м	Макс. даль- ность пода- чи, м	Глу- бина пода- чи, м	Диа- метр бето- ново- да, мм	Дав- ление бето- на, МПа	Объ- ем сме- сите- ля, м ³
CS-поршневой насос с S-шибером							
PUMI 21.67 CS	56	20,6	17,2	11,7	100	5,7	7
PUMI 24.67 CS	56	23,8	20,0	12,4	125	5,7	7
PUMI 26.67 CS	56	25,6	21,8	14,9	100	5,7	7
PUMI 28.67 CS	56	27,8	24,0	16,9	100	5,7	7
PUMI 31.67 CS	56	30,6	26,7	18,9	100	5,7	7
Q-роторный насос							
PUMI 21.67 Q	58	20,6	17,2	11,7	100	2,5	7
PUMI 24.67 Q	58	23,8	20,0	12,4	125	2,5	7
PUMI 26.67 Q	58	25,6	21,8	13,6	125	2,5	7

Таблица П.2.46

**Технические характеристики автобетононасоса-смесителя
COIME (Италия)**

Характеристики	ПУМ 27-4-100	ПУМ 28-4-125	ПУМ 31-4-100
Раздаточная стрела			
Мах вертикаль подачи, м	26,6	28	30,6
Мах горизонталь подачи, м	23	24,4	27,0
Количество секций	4	4	4
Тип раскладывания	Z	Z	Z
Min высота раскладывания, м	5,7	6,9	6,9
Углы раскладывания, град	105/180/250/260	105/180/250/260	105/180/250/260
Мах угол поворота по горизонту, град	370	370	370
Диаметр бетоновода, мм	100	112/125	100
Длина концевой шланга, м	3,5	112/125	3,5
Насосная группа			
Модель	2010	2010	2010 K
Мах производительность, м ³ /ч	80	80	80
Тип привода	Отбор мощности	Отбор мощности	Отбор мощности
Размеры цилиндров (диам. × длина), мм	200×1000	200×1000	200×1000
Мах рабочее давление (бар)	60	60	60
Объем приемного бункера (м ³)	0,45	0,45	0,45
Модель гидравлического насоса	Bosch – Rexroth	Bosch – Rexroth	Bosch – Rexroth
Миксер			
Объем, м ³	9	9	10
Общие			
Шасси	Astra, Iveco, DAF, MAN, MB, Volvo или Scania	Astra, Iveco, DAF, MAN, MB, Volvo или Scania	Astra, Iveco, DAF, MAN, MB, Volvo или Scania
Колесная формула	6×4	6×4	8×4
Мощность двигателя, л. с.	по запросу	360	450
Габаритные размеры Д×В×Ш, м	9,4×4×2,5	–	9,8×4,0×2,5
Мах размах передних аутриггеров, м	3,8	5	5
Мах размах задних аутриггеров, м	3,6	3,7	3,7

Таблица П.2.47

Пневмонагнетатели

Характеристика	СМЛ-136-141	С-862	ПН-0,3	ПН-0,5	ПРИV-2	ППIV-3	ПБУ-2
Производительность, м ³ /ч	20	3–4	9	15	8	16	16
Емкость нагнетателя, л	800	350	450	620	400	800	250
Максимальное рабочее давление, атм	6	7	–	–	6	6	7
Дальность подачи, м:							
по горизонтали	До 200	До 200	До 200	До 200	До 200	До 200	До 200
по вертикали	35	30	35	35	–	–	–
Внутренний диаметр	180	69	150	150	До 60	193	150
Наибольшая крупность заполнителя, мм	60	20	40	40	40	70	40
Емкость ресивера, м ³	4	0,7	1,6	1,8	3,2	5	–
Емкость гасителя, м ³	0,7	–	–	–	–	–	–
Габариты нагнетателя, мм:							
длина	2054	2090	1600	1800	5650	6700	4320
ширина	2170	1240	1000	1300	2730	2600	900
высота	2430	1320	1500	2000	3750	4580	1580
Габариты гасителя, мм:							
длина	2000	–	–	–	–	–	–
ширина	2060	–	–	–	–	–	–
высота	1960	–	–	–	–	–	–
Масса нагнетателя, кг	1300	1000	580	640	4806	7040	1850
(Без установки в целом)							
Масса ресивера, кг	1240	–	634	703	–	–	–
Масса гасителя, кг	950	20	–	–	85	85	–
Тип нагнетателя	Вертикальный, стационарный		–		Вертикальный, прицепной, со скиповым подъемом		
Изготовитель	Московский завод «Строймаш»		Завод № 6 Главтоннельметростроя		Строительные организации собственными силами		

Таблица П.2.48

**Электротехнические вибраторы общего назначения
с направленными колебаниями**

Параметр	Модель вибратора						
	ИВ-35	ИВ-36 ИВ-74 ИВ-36А	ИВ-38 ИВ-38А	ИВ-63	ИВ-49	ИВ-65	ИВ-53
Номинальная мощность двигателя, кВт	0,27	0,4	0,8	1,5	0,8×2	1,5×2	0,8
Возмущающая сила, кгс	125; 160; 200	200; 250; 315; 400	800; 1000; 1250; 1600	1600; 2000; 2500; 3000	1600; 2000; 2500; 3200	3200; 4000; 5000; 6000	800; 1000; 1250; 1600
Частота колебаний, кол/мин	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800
Напряжение, В	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380
Гарантийный срок службы, ч	500	500	500	800	800	800	800
Масса, кг	15	28	85	130	100	185	85

Таблица П.2.49

**Электромеханические вибраторы общего назначения
с круговыми колебаниями**

Параметр	Модель вибратора						
	ИВ-19 или ИВ-19А	ИВ-21 или ИВ-21А	ИВ-22	ИВ-24	ИВ-61	ИВ-68	ИВ-70 или ИВ-70А
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	0,27	0,6	0,8	1,5	0,4	0,4	0,4
Возмущающая сила, кгс	125 160 200 400	400 500 630 800	800 1000 1250 1600	1600 2000 2500 3000	250 315 400 500	– 500 – –	200 250 315 400

Параметр	Модель вибратора						
	ИВ-19 или ИВ-19А	ИВ-21 или ИВ-21А	ИВ-22	ИВ-24	ИВ-61	ИВ-68	ИВ-70 или ИВ-70А
Частота колебаний, кол./мин	2800	2800	2800	2800	1400	1400	2800
Напряжение, В	220/ 380 или 36; 12	220/ 380 или 36; 25	220 380 или 51	220/ 380 или 80	220/ 380 или 32	220/ 380 или 36; 31	220/380 или 20
Гарантийный срок службы вибраторов, ч	1000	500	500	500	–	500	1000

Примечание. Вибраторы, питаемые током с напряжением 36 В, имеют в индексе дополнительную букву А. Модель вибратора, питаемого током с напряжением 36 В, отмечена дополнительной буквой А.

Таблица П.2.50

Подвесные глубинные вибраторы

Параметр	Модель вибратора	
	ИВ-34	С-694
Наружный диаметр корпуса, мм	133	194
Длина рабочей части, мм	800	1500
Возмущающая сила, кгс	2000	2700
Частота колебаний, кол./мин	8000	3500
Тип	Электродвигатель трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором	
Мощность, кВт	32,2	4
Напряжение, В	220/380	220/380
Масса вибратора, кг	130	230
Изготовитель	Ярославский завод «Красный маяк»	Ленинградский котельно-механический завод

Таблица П.2.51

Пневматические глубинные вибраторы

Параметр	Модель вибратора			
	С-697 ИБ-13	С-698 ИБ-14	С-699 ИБ-15	С-700 ИБ-16
Наружный диаметр корпуса, мм	34	50	75	110
Длина рабочей части вибратора, мм	315	315	375	480
Рабочее давление сжатого воздуха кгс/см ²	4–6	4–6	4–6	4–6
Частота колебаний при работе в воздухе, кол./мин: высокая	14000	12000	10000	8000
	18000	18000	16000	14000
низкая	2800	2400	2000	1500
	3600	3600	3000	2600
Максимальная возмущающая сила, кгс	100	350	700	2000
Расход воздуха, м ³ /мин	0,5–0,7	0,7–1,1	1,2–1,3	1,4–1,5
Масса вибратора, кг	3,5	5,5	11	20
Изготовитель	Одесский завод строительных и отделочных машин			

Примечание. Значения частоты колебаний, возмущающей силы и расход воздуха указаны при номинальном давлении сжатого воздуха 4 кгс/см².

Таблица П.2.52

Глубинные вибраторы с встроенным электродвигателем

Параметр	Модель вибратора			
	ИБ-55	ИБ-56	ИБ-59	ИБ-60
Наружный диаметр корпуса, мм	51	76	114	133
Длина рабочей части, мм	410	510	520	520
Частота колебаний, кол./мин	11000	11000	5700	5700
Возмущающая сила, кгс	250	550	500	800
Тип	Электродвигатель (встроенный) трех- фазный, асинхронный с коротко- замкнутым ротором			
Комплексная мощность, кВт	0,27	0,8	0,6	1,1
Напряжение, В	36	36	36	36

Таблица П.2.53

**Электромеханические глубинные вибраторы
с гибким валом**

Параметр	Модель вибратора					
	ИВ-17	ИВ-27	ИВ-47	ИВ-66	ИВ-85	ИВ-67
Вибронаконечник						
Наружный диаметр корпуса, мм	36	51	76	38	28	51
Частота колебаний, кол./мин	20000	15000	20000	20000	20000	16000
Возмущающая сила, кг	135	220	400	150	80	300
Длина рабочей частоты, мм	350	400	440	360	400	410
Масса, кг	1,8	4,2	8,7	2,2	1,3	4,5
Электродвигатель						
Тип	Трехфазный	Асинхронный с короткозамкнутым ротором				
Напряжение, В	36	36	36	36	36	36
Мощность, кВт	0,8	0,8	1,2	0,8	0,8	0,8
Скорость вращения, об/мин	2800	2800	2800	2800	2800	2800
Масса, кг	14	14	16,5	14,3	14,3	14,3
Изготовитель	Ярославский завод «Красный маяк»					
Гибкий вал						
Изготовитель	Московский завод «Металлорукав»					
Модель	В-122	В-122	В-126, В-123	127	В-129	В-128
Длина, мм	3300	3300	3010	3300	3000	3280
Масса, кг	10	10	12,5	9	4,5	10
Гарантийный срок службы, ч	500	12 месяцев со дня выпуска				
Общая масса вибратора, кг	25,8	28,2	39	26	20	29

Таблица П.2.54

**Пневматические прикрепляемые вибраторы
общего назначения**

Параметр	Модель вибратора					
	ИВ-28	ИВ-291	ИВ-30	ИВ-31	ИВ-64	ИВ-41
Максимальный момент дебаланса, кгс · см	0,4	0,15	0,45	2	2,4	1,9
Частота колебаний, кол./мин:						
высокая	14000	12000	10000	8000	8000	7000
низкая	2500	2200	1800	1300	—	900
Рабочее давление сжатого воздуха, кгс/см ²	5	5	5	5	5	6
Расход воздуха, м ³ /мин	0,7	1,2	1,3	2	1,65	1,25
Масса вибратора, кг	2,5	3,5	6	14	19	16
Изготовитель	Одесский завод строительных и отделочных машин				Свердловский завод «Пнев-строймашина»	

Таблица П.2.55

Бетонораспределители

Параметр	Модель	
	Д-375	Д-664
Тип	Бункерный	Шнековый
Ширина распределения, м	3,5–7	3,75–7,5
Емкость бункера, м ³	2,4	—
Производительность, м ³ /ч	50	120
Диаметр шнека, мм	—	400
Скорость, м/мин:		
рабочая	22	0,7–1,4
транспортная	—	1,4–11
Мощность привода, л. с.	24	40
Общая масса, т	9	12

Таблица П.2.56

Бетоноотделочные машины

Параметр	Модель			
	УБМ-7-75	Д-376	Д-665	БО-3,5
Тип	Самоходная	Самоходная	Самоходная	С ручным приводом передвижения
Ширина обработки, м	7–7,5	3,5–7,0	3,75–7,5	3,5
Глубина проработки, см	30	20	30	20
Производительность, м ² /ч	700	250	500	100
Скорость хода, м/мин:				
вперед	0,2	0,7–6,7	0–14	–
назад	0–12	1,6–15	0–12,4	–
Мощность двигателя, л. с.	40	28	37	6
Количество рабочих органов, шт.	–	–	3	–
Число колебаний уплотнительного бруса, кол./мин	3600	3500	3000	2500
Общая масса, т	–	9,6	13	1,75

Таблица П.2.57

Справочные данные для стреловых строительных кранов

Марка крана	Дли-на стре-лы, м	Вылет стрелы, м	Грузо-подъем-ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад-ний габа-рит, м	Габариты, м		
						Дли-на	Ши-рина	Высо-та
Автомобильные краны								
Грузоподъемность 16–17 тонн								
Ивановец КС-35714	8	1,9–6,7	16,0–4,8	9,0–3,6	3,4	10,0	2,5	3,4
	14	4,0–13,3	6,15–1,3	14,6–4,8				
	18	5,6–16,0	4,0–0,7	18,4–10,0				
Ивановец КС 35714К	8	1,9–6,5	16,0–4,8	9,1–3,6	3,2	10,0	2,5	3,7
	14	4,0–13,0	6,15–1,3	14,5–4,5				
	18	5,6–17,6	4,0–0,6	18,2–5,2				
гусек 7 м	18	8,0–17,2	1,95–0,55	25,0–19,0				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли- на стре- лы, м	Вылет стрелы, м	Грузо- подъем- ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад- ний габа- рит, м	Габариты, м		
						Дли- на	Ши- рина	Высо- та
Ивановец КС 35714К-2 гусек 7 м	8	1,9–7,0	16,0–4,8	9,1–3,6	3,2	10,0	2,5	3,95
	14	4,0–13,0	6,15–1,3	14,5–4,7				
	18	5,5–17,0	4,0–0,6	18,4–5,4				
	18	8,0–17,3	1,95–0,55	25,0–19,0				
Ивановец КС- 35714К-3 гусек 7 м	8	1,9–7,0	16,0–4,8	9,4–3,0	3,4	10,0	2,5	3,78
	14	4,0–13,1	6,15–1,3	14,6–4,8				
	18	5,7–17,1	4,0–0,6	18,3–5,4				
	18	8,0–17,4	1,95–0,55	24,7–19,0				
Ивановец КС 35715 гусек 7 м	8	1,9–6,7	16,0–4,8	9,1–3,6	3,2	10,0	2,5	3,85
	14	4,0–13,2	6,15–1,3	14,5–4,7				
	18	5,7–17,5	4,0–0,6	18,4–5,4				
	18	8,0–17,3	1,95–0,55	25,0–19,0				
Ивановец 35714-2 гусек 7 м	8	2,5–7,0	17,0–4,95	8,5–2,5	3,4	10,0	2,5	3,36
	10	2,6–9,0	11,0–3,3	10,7–2,9				
	12	3,6–11,0	8,0–2,2	12,6–3,3				
	14	4,0–13,0	5,5–1,6	14,4–3,6				
Ивановец КС 35715-2 гусек 7 м	8	2,5–7,0	17,0–4,95	8,5–2,4	3,2	10,0	2,5	3,85
	10	2,7–9,0	11,0–3,3	10,7–2,7				
	12	3,5–11,0	8,0–2,2	12,7–3,2				
	14	4,0–13,0	5,5–1,6	14,4–3,5				
Ивановец КС-35714- 10 гусек 9 м	9	2,0–7,5	16,0–6,5	9,7–3,2	2,4	10,88	2,5	3,81
	11	2,5–9,5	15,0–4,8	11,5–3,5				
	13	3,0–11,0	15,0–3,8	13,5–5,5				
	15	4,0–13,0	14,6–2,9	15,5–5,7				
	17	4,5–15,0	12,0–2,1	17,5–5,8				
	19	5,0–17,0	9,7–1,62	19,0–6,4				
	21	6,0–19,0	6,5–1,21	20,8–6,6				
	23	7,0–21,0	4,2–0,93	22,7–7,0				
Клинцы КС 35719- 5 гусек 7,5 м	23	8,5–30,0	2,4–0,33	32,2–9,2	2,65	10,1	2,5	3,7
	8	3,0–6,5	15,0–5,1	8,2–4,5				
	10	3,5–9,0	10,8–2,7	10,0–3,0				
	12	4,5–11,0	7,8–2,8	12,0–3,3				
	14	6,0–14,0	5,1–1,2	14,0–3,5				
	14	7,0–17,0	1,75–0,5	20,7–13,3				
	21,5	7,0–17,0	1,75–0,5	20,7–13,3				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли- на стре- лы, м	Вылет стрелы, м	Грузо- подъем- ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад- ний габа- рит, м	Габариты, м		
						Дли- на	Ши- рина	Высо- та
Клинцы КС-35719- 1	8	3,0–7,0	16,0–4,5	9,0–5,8	2,2	10,5	2,5	3,5
	14	4,4–13,0	6,15–1,3	14,7–4,5				
	18	6,0–17,0	4,0–0,4	18,3–5,7				
Клинцы КС 35719- 1-02	8	3,0–7,0	16,0–4,5	9,0–5,8	2,75	10,1	2,5	3,6
	14	4,4–13,0	6,15–1,15	14,7–4,5				
	18	6,0–17,0	4,0–0,4	18,3–5,7				
Клинцы КС 35719- 3-02	8	3,2–7,0	16,0–4,8	9,0–5,9	2,65	10,1	2,5	3,6
	14	4,4–13,0	6,15–1,3	14,5–4,5				
	18	6,0–17,0	4,0–0,6	18,4–5,5				
Клинцы КС 35719- 5-02 гусек 7,5 м	8	3,0–7,0	16,0–4,8	9,0–5,8	2,75	10,1	2,5	3,6
	14	4,4–13,0	6,15–1,3	14,7–4,5				
	18	6,0–17,0	4,0–0,6	18,3–5,7				
	18	8,0–16,0	1,75–0,5	26,0–20,0				
	25,5	8,0–16,0	1,75–0,5	26,0–20,0				
Клинцы КС 35719- 7-02 гусек 7,5 м	8	3,0–7,0	16,0–4,8	9,0–5,8	2,75	10,1	2,5	3,6
	14	4,4–13,0	6,15–1,3	14,7–4,5				
	18	6,0–17,0	4,0–0,6	18,3–5,7				
	18	8,0–16,0	1,75–0,5	26,0–20,0				
	25,5	8,0–16,0	1,75–0,5	26,0–20,0				
Клинцы КС 35719- 8-02 гусек 7,5 м	8	3,0–7,0	16,0–4,8	9,0–5,8	2,75	10,1	2,5	3,5
	14	4,4–13,0	6,15–1,3	14,7–4,5				
	18	6,0–17,0	4,0–0,6	18,3–5,7				
	18	8,0–16,0	1,75–0,5	26,0–20,0				
	25,5	8,0–16,0	1,75–0,5	26,0–20,0				
Клинцы КС-35719- 8А гусек 7,5 м	8	2,6–7,0	16,0–4,8	8,7–3,0	2,5	9,83	2,5	3,5
	10	3,0–9,0	11,0–3,0	10,8–3,4				
	12	4,0–11,0	8,0–1,95	12,5–4,0				
	14	4,5–13,0	6,15–1,3	14,5–4,5				
	16	5,0–15,0	5,0–0,9	16,4–5,0				
	18	6,0–17,0	4,0–0,6	18,4–5,5				
	18	7,7–16,0	1,75–0,5	25,9–20,3				
	25,5	7,7–16,0	1,75–0,5	25,9–20,3				
«Углич» КС-3577- 3К гусек 7 м	8	2,4–7,0	16,0–4,0	8,5–2,9	3,4	9,85	2,5	3,4
	10	3,4–8,9	12,0–2,6	10,5–3,0				
	12	4,0–11,0	7,8–1,8	12,4–3,2				
	14	4,9–13,0	5,2–1,3	14,2–3,2				
	14	7,5–18,0	2,0–0,3	20,8–10,6				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Углич КС-45722	8,75 10,8 12,8 14,8 16,8 18,8 20,8	2,7–8,0 2,7–10,0 3,3–12,0 4,0–14,0 4,5–16,0 5,0–18,0 5,5–20,0	16,0–3,8 11,0–2,4 8,0–1,6 6,3–1,25 5,0–0,75 4,25–0,5 4,0–0,3	9,5–2,6 11,5–3,0 13,5–2,6 15,5–2,6 17,5–2,6 19,3–3,0 21,5–3,0	3,4	10,45	2,5	3,65
Ульяновец МКТ-16	8,5 10 12 14 16 18,1 18,1 24,1	3,6–7,5 4,4–9,3 5,3–11,3 6,3–13,2 7,5–15,3 8,6–17,0 10,8–16,0 10,8–16,0	16,0–5,2 10,5–3,0 8,2–1,6 6,2–1,3 4,8–0,8 2,6–0,7 2,0–0,5 2,0–0,5	8,0–3,0 10,3–3,0 11,7–3,0 13,0–3,0 15,5–3,0 17,5–3,0 24,0–18,0 24,0–18,0	2,7	10,56	2,5	3,62
Юргинец КС-45727	8,5 11 15 15	3,0–7,3 3,0–9,8 4,0–13,8 6,0–21,0	17,0–4,5 13,5–2,9 7,3–1,5 2,2–0,4	8,7–1,3 11,5–1,3 15,4–1,3 22,2–1,7	2,4	10,0	2,5	3,75
Юргинец КС-45727-1	8,5 11 15 15	3,0–7,3 3,0–9,8 4,0–13,8 6,0–21,0	17,0–4,5 13,5–2,9 7,3–1,5 2,2–0,4	8,7–1,3 11,5–1,3 15,4–1,3 22,2–1,7	2,4	10,0	2,5	3,75
Грузоподъемность 20 тонн								
Клинцы КС 45719-1А	9 12 15 18 21	2,0–7,0 2,0–10,0 2,7–13,0 3,5–16,0 4,5–19,0	20,0–7,2 15,0–3,9 12,0–2,35 8,5–1,45 6,0–0,9	10,0–4,0 13,0–5,5 16,0–6,0 18,8–7,0 21,5–8,0	2,75	11,3	2,5	3,7
Клинцы КС 45719-3А	9 12 15 18 21	2,0–7,5 2,0–10,0 2,8–13,0 3,5–16,0 4,5–19,0	20,0–1,1 15,0–4,25 12,0–2,6 8,5–1,65 6,0–1,1	9,8–4,0 13,0–5,5 15,9–6,0 18,9–7,0 21,5–8,0	2,9	11,1	2,5	3,8

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Клинцы КС 45719-5А	9	2,0–7,0	20,0–7,3	9,8–5,0	2,85	11,3	2,5	3,7
	12	2,0–10,0	15,0–3,85	13,0–5,5				
	15	2,7–13,0	12,0–2,3	15,8–6,0				
	18	3,5–16,0	8,5–1,5	18,9–7,0				
	21	4,5–19,0	6,0–1,0	21,5–8,0				
Клинцы КС 45719-7А	9	2,0–7,0	20,0–7,7	9,8–4,0	2,75	10,0	2,5	3,85
	12	2,0–10,0	15,0–4,25	13,0–5,5				
	15	2,7–13,0	12,0–2,6	15,8–6,0				
	18	3,5–16,0	8,5–1,65	18,8–7,0				
	21	4,5–19,0	6,0–1,1	21,5–8,0				
Клинцы КС-45719-8А гусек 7,5 м	9	2,0–7,0	20,0–8,0	9,8–5,0	2,75	11,06	2,5	3,64
	12	2,0–10,0	15,0–4,9	13,0–5,6				
	15	2,8–13,0	12,0–3,1	16,0–5,8				
	18	3,5–16,0	8,5–2,05	19,0–6,5				
	21	4,5–19,0	6,0–1,45	21,5–7,5				
	21	9,0–18,0	1,3–0,65	28,0–22,5				
Клинцы КС-45719-9А-1 гусек 7,5 м	9	2,0–7,0	20,0–7,3	9,8–5,0	2,55	11,14	2,5	3,87
	12	2,0–10,0	15,0–3,85	13,0–5,5				
	15	2,5–13,0	12,0–2,3	16,8–6,0				
	18	3,5–16,0	8,5–1,5	18,8–7,0				
	21	4,5–19,0	6,0–1,0	21,5–8,0				
	21	7,0–18,0	2,0–0,7	29,0–23,0				
	28,5	7,0–18,0	2,0–0,7	29,0–23,0				
Клинцы КС 45724-5	9	2,0–7,5	20,0–5,5	9,8–4,0	2,85	11,3	2,5	3,7
	12	2,0–11,6	15,0–3,0	13,0–3,9				
	15	2,7–13,7	12,0–1,7	15,8–4,0				
	18	3,5–16,0	8,5–1,15	18,8–7,0				
	21	4,5–18,0	6,0–0,85	21,5–10,0				
Углич КС-45726-2(4) гусек 7 м	8	2,7–7,0	20,0–6,0	8,5–5,0	3,4	10,45	2,5	3,65
	14	4,7–13,0	8,6–1,7	14,5–5,5				
	21	6,0–19,0	4,0–0,6	20,5–6,8				
	21	9,0–18,0	2,0–0,5	28,0–22,0				
Ульяновец МКАТ-20.01.4 гусек 6 м	9,7	3,0–8,0	20,0–4,25	10,0–4,0	2,85	12,0	2,5	3,75
	15,7	5,0–14,0	10,0–1,2	16,0–6,0				
	21,7	6,5–18,5	5,0–0,45	21,6–9,5				
	21,7	8,5–17,0	1,8–0,1	27,6–26,0				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Ульяновец МКАТ-20.03 гусек 6 м	9,7 15,7 21,7 21,7	3,0–8,0 5,0–14,0 6,5–18,5 8,5–17,0	20,0–4,25 10,0–1,2 5,0–0,45 1,8–0,1	10,0–4,0 16,0–6,0 21,6–9,5 27,6–26,0	2,85	12,0	2,5	3,57
Грузоподъемность 25 тонн								
Ивановец КС-45717-1 гусек 7 м	9 15 21 21	2,0–8,0 3,8–13,7 5,5–18,7 8,0–17,0	25,0–6,35 13,7–2,15 6,35–0,9 1,95–0,6	10,0–3,0 15,8–3,0 21,3–8,0 28,3–23,3	3,6	10,9	2,5	3,6
Ивановец КС-45717К-1 гусек 7 м	9 15 21 21	2,0–8,0 3,8–13,7 5,5–19,7 8,0–17,0	25,0–6,35 13,7–2,15 6,35–0,9 1,95–0,6	10,0–3,0 15,8–3,0 21,3–8,0 28,0–23,1	3,6	10,9	2,5	3,6
Ивановец КС-45717К-2 гусек 7 м	9 15 21 21	2,0–7,7 3,5–13,7 5,5–19,7 8,0–17,0	25,0–6,35 13,75–2,15 6,35–0,9 1,95–0,5	10,0–3,0 15,8–3,0 21,3–3,5 28,2–23,2	3,2	11,0	2,5	3,6
Ивановец КС-45717К-3 гусек 7 м	9 15 21 21	2,0–7,7 3,5–13,7 5,5–19,7 8,0–17,0	25,0–6,35 13,75–2,15 6,35–0,9 1,95–0,6	10,0–3,0 16,0–3,0 21,0–3,5 28,0–23,2	3,2	10,83	2,5	3,95
Ивановец КС-45717А-1 гусек 7 м	9 15 21 21	2,0–7,7 3,5–13,7 5,5–19,7 8,0–17,0	25,0–6,35 13,75–2,15 6,35–0,9 1,95–0,6	10,0–3,0 15,8–3,0 21,3–3,5 28,2–23,2	3,2	11,0	2,5	3,9
Ивановец КС-45717-1Р гусек 9 м	9,9 17 23 30,7 30,7 39,7	1,9–8,5 4,0–16,0 5,5–23,6 7,5–29,0 9,0–31,0 9,0–31,0	25,0–7,0 16,6–2,2 9,3–1,19 5,0–0,41 3,0–0,25 3,0–0,25	11,0–3,0 18,0–3,0 24,0–3,5 31,5–7,0 40,3–24,5 40,3–24,5	3,2	12,0	2,5	3,82
Клинцы КС-55713-1К гусек 7,5 м	9 15 21 21 28,5	3,0–7,5 3,0–13,7 4,5–19,6 7,0–18,0 7,0–18,0	25,0–6,6 13,8–2,25 6,4–0,9 2,0–0,7 2,0–0,7	9,0–3,0 15,7–3,3 21,6–3,7 29,2–22,8 29,3–22,8	2,4	11,06	2,5	3,64

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли- на стре- лы, м	Вылет стрелы, м	Грузо- подъем- ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад- ний габарит, м	Габариты, м		
						Дли- на	Ши- рина	Высо- та
Клинцы КС-55713- 3К гусек 7,5 м	9	3,2–7,5	25,0–6,6	9,0–3,0	3,35	11,1	2,5	3,71
	15	3,0–13,5	13,8–2,25	16,0–3,5				
	21	4,5–19,5	6,4–0,9	21,6–3,7				
	21	7,0–18,0	2,0–0,7	29,0–23,0				
Клинцы КС-55713- 5К гусек 7,5 м	9	3,0–7,5	25,0–6,6	9,0–3,0	2,45	11,1	2,5	3,84
	15	3,0–13,7	13,8–2,25	15,8–3,3				
	21	4,5–19,6	6,4–0,9	21,6–3,7				
	21	7,0–18,0	2,0–0,7	29,3–23,0				
	28,5	7,0–18,0	2,0–0,7	29,3–23,0				
Клинцы КС-55713- 6К гусек 7,5 м	9	2,0–7,5	25,0–7,6	9,7–3,0	3,1	11,06	2,5	3,7
	12	2,0–10,5	15,0–4,3	13,0–3,2				
	15	2,8–13,5	13,8–2,7	15,8–3,4				
	18	3,5–16,5	10,0–1,8	19,0–3,5				
	21	4,5–19,6	6,4–1,2	21,6–3,7				
	21	7,0–18,0	2,0–0,7	29,3–23,3				
Клинцы КС-55713- 1К-2 гусек 7 м	10	2,0–7,7	25,0–5,9	10,4–5,5	2,45	12,0	2,5	3,71
	13	2,4–11,0	15,0–3,45	13,0–6,0				
	15	3,0–13,6	14,0–2,25	15,7–3,3				
	18	3,5–16,5	10,0–1,45	18,5–3,5				
	21	4,4–19,5	7,0–0,9	21,5–3,7				
	24	5,5–20,0	5,5–0,8	23,8–12,0				
	24	7,0–18,0	2,0–0,7	31,4–25,5				
	31,5	7,0–18,0	2,0–0,7	31,4–25,5				
Клинцы КС 55713- 3К2-2 гусек 7,5 м	10	2,0–7,7	25,0–5,9	10,3–5,5	2,4	11,1	2,5	3,84
	13	2,5–11,0	15,0–3,45	13,0–6,0				
	15	3,0–13,6	14,0–2,25	15,7–3,3				
	18	3,5–16,7	10,0–1,45	18,5–3,6				
	21	4,5–19,5	7,0–0,9	21,7–3,7				
	24	5,5–20,0	5,5–0,8	23,8–12,0				
Клинцы КС-55713- 5К-2 гусек 7,5 м	10	2,0–7,7	25,0–5,9	10,3–5,5	2,45	12,0	2,5	3,71
	12	2,5–11,0	15,0–3,45	13,0–6,0				
	15	3,0–13,5	14,0–2,25	15,6–3,3				
	18	3,5–16,7	10,0–1,45	18,7–3,5				
	21	4,5–19,5	7,0–0,9	21,5–3,7				
	24	5,5–20,0	5,5–0,8	23,8–12,0				
	24	7,0–18,0	2,0–0,7	31,5–25,5				
	31,5	7,0–18,0	2,0–0,7	31,5–25,5				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Клинцы КС-55713-6К-2 гусек 7,5 м	10	2,0–7,7	25,0–5,9	10,3–5,5	2,45	12,0	2,5	3,7
	12	2,5–11,0	15,0–3,45	13,0–6,0				
	15	3,0–13,5	14,0–2,25	15,6–3,3				
	18	3,5–16,7	10,0–1,45	18,7–3,5				
	21	4,5–19,5	7,0–0,9	21,5–3,7				
	24	5,5–20,0	5,5–0,8	23,8–12,0				
	24	7,0–18,0	2,0–0,7	31,5–25,5				
	31,5	7,0–18,0	2,0–0,7	31,5–25,5				
Клинцы КС-55713-10К-2 гусек 7,5 м	10	2,0–7,7	25,0–5,9	10,3–5,5	2,45	12,0	2,5	3,9
	12	2,5–11,0	15,0–3,45	13,0–6,0				
	15	3,0–13,5	14,0–2,25	15,6–3,3				
	18	3,5–16,7	10,0–1,45	18,7–3,5				
	21	4,5–19,5	7,0–0,9	21,5–3,7				
	24	5,5–20,0	5,5–0,8	23,8–12,0				
	24	7,0–18,0	2,0–0,7	31,5–25,5				
	31,5	7,0–18,0	2,0–0,7	31,5–25,5				
Клинцы КС-55713-1К-3 гусек 9 м	9,5	2,5–8,0	25,0–6,95	10,0–3,4	2,45	11,8	2,5	3,7
	12	3,0–10,0	15,0–4,8	12,5–5,5				
	14	3,0–12,0	15,0–3,5	14,6–5,5				
	16	3,0–14,0	14,0–2,7	16,6–6,0				
	18	4,0–16,0	12,0–2,05	18,5–6,4				
	20	4,0–18,0	10,0–1,6	20,6–6,5				
	22	4,0–20,0	8,5–1,25	22,6–6,7				
	24	5,0–22,0	7,5–0,95	24,5–7,0				
	26	5,0–24,0	6,5–0,7	26,5–7,3				
	28	6,0–26,0	5,0–0,5	28,3–7,5				
	28	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,4				
	37	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,4				
Клинцы КС-55713-3К-3 гусек 9,0 м	9,5	2,5–8,0	25,0–6,55	10,0–3,0	2,4	11,8	2,5	3,98
	12	3,0–10,0	15,0–4,45	12,5–5,5				
	14	3,0–12,0	15,0–3,1	14,7–5,7				
	16	3,0–14,0	14,0–2,3	16,7–6,0				
	18	4,0–16,0	12,0–1,7	18,5–6,5				
	20	4,0–18,0	10,0–1,3	20,6–6,5				
	22	4,0–20,0	8,5–0,95	22,5–6,6				
	24	5,0–22,0	7,5–0,7	24,5–7,0				
	26	5,0–22,0	6,5–0,65	26,5–12,7				
	28	6,0–22,0	5,0–0,65	28,4–16,7				
	28	8,0–18,0	1,8–0,45	37,3–33,3				
	37	8,0–18,0	1,8–0,45	37,3–33,3				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Клинцы КС-55713-5К-3	9,5	2,5–8,0	25,0–6,55	10,0–3,3	2,45	11,8	2,5	3,7
	12	3,0–10,0	15,0–4,45	12,5–5,5				
	14	3,0–12,0	15,0–3,1	14,5–5,5				
	16	3,0–14,0	14,0–2,3	16,8–6,0				
	18	4,0–16,0	12,0–1,7	18,5–6,4				
	20	4,0–18,0	10,0–1,3	20,8–6,5				
	22	4,0–20,0	8,5–0,95	22,5–6,7				
	24	5,0–22,0	7,5–0,7	24,5–7,0				
	26	5,0–22,0	6,5–0,65	26,5–12,7				
	28	6,0–22,0	5,0–0,65	28,3–16,7				
	28	8,0–18,0	1,8–0,45	37,3–33,3				
	37	8,0–18,0	1,8–0,45	37,3–33,3				
Клинцы КС-55713-6К-3	9,5	2,5–8,0	25,0–6,95	10,0–3,3	2,45	11,8	2,5	3,7
	12	3,0–10,0	15,0–4,8	12,5–5,5				
	14	3,0–12,0	15,0–3,5	14,5–5,5				
	16	3,0–14,0	14,0–2,7	16,7–6,0				
	18	4,0–16,0	12,0–2,05	18,5–6,4				
	20	4,0–18,0	10,0–1,6	20,5–6,5				
	22	4,0–20,0	8,5–1,25	22,5–6,7				
	24	5,0–22,0	7,5–0,95	24,5–7,0				
	26	5,0–24,0	6,5–0,7	26,5–7,4				
	28	6,0–26,0	5,0–0,5	28,3–7,5				
	28	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,3				
	37	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,3				
Клинцы КС-55713-9К-3	9,5	2,5–8,0	25,0–6,95	10,0–3,3	2,45	11,8	2,5	3,98
	12	3,0–10,0	15,0–4,8	12,5–5,5				
	14	3,0–12,0	15,0–3,5	14,5–5,5				
	16	3,0–14,0	14,0–2,7	16,7–6,0				
	18	4,0–16,0	12,0–2,05	18,5–6,4				
	20	4,0–18,0	10,0–1,6	20,5–6,5				
	22	4,0–20,0	8,5–1,25	22,5–6,7				
	24	5,0–22,0	7,5–0,95	24,5–7,0				
	26	5,0–24,0	6,5–0,7	26,5–7,4				
	28	6,0–26,0	5,0–0,5	28,3–7,5				
	28	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,3				
	37	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,3				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Клинцы КС-55713-10К-3	9,5	2,5–8,0	25,0–6,95	10,0–3,3	2,45	11,8	2,5	3,95
	12	3,0–10,0	15,0–4,8	12,5–5,5				
	14	3,0–12,0	15,0–3,5	14,5–5,5				
	16	3,0–14,0	14,0–2,7	16,7–6,0				
	18	4,0–16,0	12,0–2,05	18,5–6,4				
	20	4,0–18,0	10,0–1,6	20,5–6,5				
	22	4,0–20,0	8,5–1,25	22,5–6,7				
	24	5,0–22,0	7,5–0,95	24,5–7,0				
	26	5,0–24,0	6,5–0,7	26,5–7,4				
	28	6,0–26,0	5,0–0,5	28,3–7,5				
гусек 9 м	28	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,3				
	37	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,3				
Галичанин КС-55713-1	9,7	3,25–8,0	25,0–5,5	9,0–4,0	2,95	12,0	2,5	3,6
	15,7	4,0–14,0	11,0–1,4	16,0–4,0				
	21,7	6,0–18,0	6,0–0,5	21,5–9,0				
	21,7	10,0–18,0	1,35–0,25	32,5–25,5				
гусек 9 м	30,7	10,0–18,0	10,0–18,0	32,5–25,5				
Галичанин КС-55713-3	9,7	3,2–8,0	25,0–6,0	10,0–4,0	3,6	12,0	2,5	3,6
	15,7	4,0–14,0	10,0–1,6	16,0–4,9				
	21,7	6,1–17,9	6,0–0,8	22,0–11,2				
Галичанин КС-55713-4	9,7	3,2–8,0	25,0–5,5	9,0–4,0	3,0	12,0	2,5	3,7
	15,7	4,0–14,0	11,0–1,4	16,0–4,0				
	21,7	6,0–18,0	6,0–0,5	21,5–9,0				
	21,7	10,0–18,0	1,35–0,25	32,6–25,4				
гусек 9 м	30,7	10,0–18,0	1,35–0,25	1,35–0,25				
Галичанин КС-55713-5	9,7	3,2–8,0	25,0–5,5	9,0–4,0	3,0	12,0	2,5	3,8
	15,7	4,0–14,0	11,0–1,4	16,0–4,0				
	21,7	6,0–18,0	6,0–0,5	21,5–9,0				
Галичанин КС 55713-6	9,7	3,2–8,0	25,0–5,5	10,0–4,0	2,6	12,0	2,5	3,8
	15,7	4,0–14,0	11,0–1,4	15,8–4,0				
	21,7	6,0–18,0	6,0–0,5	21,5–9,0				
	21,7	10,0–18,0	1,35–0,25	32,5–25,5				
гусек 9 м								
Галичанин КС-55713-6В	9,7	3,2–8,0	25,0–5,5	10,0–4,0	2,6	11,8	2,5	3,95
	15,7	4,0–14,0	11,0–1,4	16,0–4,0				
	21,7	6,0–18,0	6,0–0,5	21,5–9,0				
	21,7	10,0–18,0	1,35–0,25	32,6–25,5				
гусек 9 м	30,7	10,0–18,0	1,35–0,25	32,6–25,5				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Галичанин КС-55713-1В (4В) гусек 9 м	9,5	2,5–8,0	25,0–7,05	10,0–3,3	2,5	11,8	2,5	3,86
	12	3,0–10,0	15,0–4,8	12,5–5,5				
	14	3,0–12,0	15,0–3,65	14,5–5,5				
	16	3,0–14,0	14,0–2,7	16,5–6,0				
	18	4,0–16,0	12,0–2,1	18,5–6,4				
	20	4,0–18,0	10,0–1,65	20,5–6,5				
	22	3,8–20,0	8,5–1,25	22,5–6,6				
	24	5,0–22,0	7,5–0,95	24,5–7,0				
	26	5,0–24,0	6,5–0,7	26,5–7,4				
	28	6,0–26,0	5,0–0,5	28,3–7,5				
	28	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,5				
	37	8,0–18,0	1,8–0,55	37,3–33,5				
Углич КС-45728-4В гусек 7,5 м	8,5	2,7–7,0	25,0–6,0	8,5–5,0	3,4	10,45	2,5	3,65
	14,5	4,7–13,0	8,6–1,7	14,5–5,5				
	20,5	6,9–19,0	4,0–0,6	20,5–6,5				
	20,5	9,0–18,0	2,0–0,5	28,0–22,0				
Челябинец КС 45721	9,7	3,0–8,0	25,0–6,0	10,0–4,0	2,95	12,05	2,5	3,62
	15,7	4,0–14,0	10,0–1,6	16,0–5,0				
	21,7	6,0–18,0	6,0–0,8	21,9–11,0				
Челябинец КС 45721-07 гусек 7 м	9,7	3,0–8,0	25,0–5,8	10,0–4,0	2,95	12,0	2,5	3,62
	15,7	4,0–14,0	10,34–1,6	16,0–4,5				
	21,7	6,5–18,0	6,0–0,8	22,0–11,0				
	21,7	9,0–25,0	2,6–0,4	28,0–13,0				
Челябинец КС 45721-08 гусек 7 м	9,7	3,0–8,0	25,0–5,8	10,0–4,0	2,95	12,0	2,5	3,62
	15,7	4,0–14,0	10,34–1,6	16,0–4,5				
	21,7	6,5–18,0	6,0–0,8	21,9–11,0				
	21,7	9,0–25,0	2,6–0,4	28,25–13,2				
Челябинец КС 45721-10 гусек 7 м	9,7	3,0–8,0	25,0–5,8	10,0–4,0	2,95	12,05	2,5	3,86
	15,7	4,0–14,0	10,34–1,6	16,0–4,5				
	21,7	6,5–18,0	6,0–0,8	21,9–11,0				
	21,7	9,0–25,0	2,6–0,4	28,25–13,2				
Челябинец КС 45721-11 гусек 7 м	9,7	3,0–8,0	25,0–5,8	10,0–4,0	2,95	12,0	2,5	3,62
	15,7	4,0–14,0	10,34–1,6	16,0–4,5				
	21,7	6,5–18,0	6,0–0,8	21,9–11,0				
	21,7	9,0–25,0	2,6–0,4	28,25–13,2				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Ульяновец МКТ 25.1 гусек 6 м	9,7 15,7 21,7 21,7	3,0–8,0 5,0–14,0 6,7–18,5 8,4–17,0	25,0–4,25 10,0–1,2 5,0–0,45 1,8–0,1	10,0–4,0 16,0–5,0 21,5–9,5 27,5–26,0	2,75	12,0	2,5	3,65
Ульяновец МКТ 25.2 гусек 6 м	9,7 15,7 21,7 21,7	3,0–8,0 5,0–14,0 6,7–18,5 8,4–17,0	25,0–4,25 10,0–1,2 5,0–0,45 1,8–0,1	10,0–4,0 16,0–5,0 21,5–9,5 27,5–26,0	2,75	12,0	2,5	3,57
Ульяновец МКТ 25.3 гусек 6 м	9,7 15,7 21,7 21,7	3,0–8,0 5,0–14,0 6,7–18,5 8,4–17,0	25,0–4,25 10,0–1,2 5,0–0,45 1,8–0,1	10,0–4,0 16,0–5,0 21,5–9,5 27,5–26,0	2,75	12,0	2,5	3,57
Ульяновец МКТ 25.4 гусек 6 м	9,7 15,7 21,7 21,7	3,0–8,0 5,0–14,0 6,7–18,5 8,4–17,0	25,0–4,25 10,0–1,2 5,0–0,45 1,8–0,1	10,0–4,0 16,0–5,0 21,5–9,5 27,5–26,0	2,75	12,0	2,5	3,57
Ульяновец МКТ-25.5 гусек 7 м	9,7 15,7 21,7 21,7	2,3–8,0 5,0–14,0 6,0–18,5 10,5–17,0	25,0–4,25 10,0–1,2 5,0–0,45 1,0–0,1	10,5–4,0 16,0–8,0 22,0–9,5 26,5–24,5	2,95	12,0	2,5	3,65
Ульяновец МКТ-25.7	9,7 15,7 21,7	3,1–8,0 5,2–14,0 6,8–18,4	25,0–4,25 10,0–1,2 5,0–0,45	10,2–4,0 16,0–5,0 21,5–9,5	3,0	12,0	2,5	3,65
Юргинец КС-45718 гусек 7 м	8,3 14,2 20 20 27	2,0–7,0 3,0–12,8 3,0–18,7 4,5–25,7 4,5–25,7	25,0–6,6 10,9–2,2 6,6–0,9 2,6–0,3 2,6–0,3	9,0–1,5 14,5–1,5 21,0–1,5 27,5–1,5 27,5–1,5	2,5	9,98	2,5	3,59
Юргинец КС-55722 гусек 8 м	8,3 11,05 14,16 17,28 20 20	3,0–7,3 3,0–9,7 3,0–12,8 3,0–16,0 3,0–18,7 4,5–23,5	25,0–6,4 17,3–3,5 12,0–2,1 9,2–1,3 7,5–0,9 2,4–0,35	8,7–1,5 11,8–1,5 15,0–1,5 18,2–1,5 21,3–1,5 27,8–13,0	2,5	10,15	2,5	3,85

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Юргинец КС-55722-1	9	3,0–7,5	25,0–6,4	9,0–1,5	3,25	9,98	2,5	3,59
	12	3,0–9,8	17,3–3,5	12,0–1,5				
	15	3,0–13,0	12,0–2,1	15,0–1,5				
	18	3,0–16,0	9,2–1,3	18,3–1,5				
	21	4,0–19,0	6,5–0,9	20,5–1,5				
гусек 7 м	21	5,5–23,7	2,4–0,35	27,4–12,4				
Юргинец КС-55722-2	8,3	3,0–7,3	25,0–6,4	8,7–1,5	3,25	9,98	2,5	3,59
	11,05	3,0–9,7	17,3–3,5	11,8–1,5				
	14,16	3,0–12,8	12,0–2,1	15,0–1,5				
	17,28	3,0–16,0	9,2–1,3	18,2–1,5				
	20	3,0–18,7	7,5–0,9	21,3–1,5				
гусек 8 м	20	4,5–23,5	2,4–0,35	27,8–13,0				
Камышин (Газакс) КС-5576К-1	9,9	3,0–8,0	25,0–10,6	11,0–3,0	3,35	11,71	2,5	3,953
	16,7	4,0–14,0	13,9–3,5	18,0–7,2				
	22	6,0–20,0	8,7–1,6	23,0–4,0				
	26	7,0–24,0	8,2–1,44	27,0–4,5				
	30,7	8,0–25,0	5,5–0,36	31,5–17,0				
гусек 7,15 м	30,7	13,0–24,0	1,36–0,36	37,0–30,0				
Камышин (Газакс) КС-5576Б-1	9,9	3,0–8,0	25,0–9,4	11,0–3,0	3,35	11,6	2,5	3,95
	16,7	4,0–14,0	13,7–1,74	18,0–7,2				
	22	6,0–20,0	8,7–1,03	23,0–4,0				
	26	7,0–24,0	7,5–0,71	27,0–4,5				
	30,7	8,0–24,0	5,5–0,82	31,5–18,5				
гусек 7,15 м	30,7	13,0–24,0	1,36–0,33	37,0–30,0				
Грузоподъемность 30–32 тонны								
Ивановец КС-5576К	9,9	3,0–8,0	32,0–8,6	11,0–3,0	3,2	11,7	2,5	3,95
	16,7	4,0–14,0	13,9–2,6	17,8–7,1				
	22	6,0–20,0	8,7–1,2	23,0–4,2				
	26	7,0–24,0	8,2–0,8	26,5–5,0				
	30,7	8,0–26,5	5,5–0,5	31,0–13,0				
гусек 7,15 м	30,7	13,0–24,0	1,36–0,36	37,0–30,0				
Ивановец КС-55717А	9,4	3,0–7,0	32,0–10,0	9,5–4,5	3,2	10,73	2,5	3,95
	15,4	4,0–12,0	16,0–3,05	15,5–8,2				
	21,4	6,0–18,0	9,7–1,4	21,4–9,5				
	27,4	8,0–23,0	6,06–0,76	27,0–13,0				
	27,4	10,0–22,0	1,95–0,3	34,0–26,5				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Камышин (Газакс) КС-5576Б гусек 7,15 м	9,9	3,0–8,0	32,4–8,6	11,0–3,0	3,55	11,6	2,5	3,95
	14	3,2–12,0	22,4–3,8	–				
	16,7	4,0–14,0	13,9–2,6	17,8–7,5				
	18	5,0–16,0	10,5–2,0	–				
	22	6,0–20,0	8,7–1,2	–				
	26	7,0–24,0	8,2–0,8	26,6–4,5				
	30,7	8,0–26,0	5,5–0,6	31,3–12,5				
	30,7	13,0–24,0	1,36–0,36	37,0–29,8				
Камышин (Газакс) КС-5576К гусек 7,15 м	9,9	3,0–8,0	32,0–9,8	11,0–3,0	3,55	11,71	2,5	3,95
	16,7	4,0–14,0	13,9–3,3	17,8–7,5				
	22	6,0–20,0	8,7–1,68	23,0–4,3				
	26	7,0–24,0	8,2–1,07	26,6–4,5				
	30,7	8,0–26,0	5,5–0,75	31,3–12,5				
	30,7	13,0–24,0	1,36–0,36	37,0–29,8				
Галичанин КС-55729В гусек 9 м	9,6	3,0–8,0	32,0–11,6	10,2–4,0	4,6	12,0	2,5	3,95
	16,2	4,5–14,0	13,9–3,7	16,4–6,2				
	24,2	5,0–22,0	8,7–1,5	25,0–7,0				
	30,2	6,2–27,0	5,5–0,95	30,3–11,5				
	30,2	8,0–22,0	1,8–0,6	37,5–30,5				
Галичанин КС-55729-1В гусек 9 м гусек 15 м	9,7	2,5–7,5	32,0–11,6	10,2–5,0	3,85	12,0	2,5	3,95
	16,2	3,0–14,0	13,9–3,7	17,0–6,5				
	24	5,0–22,0	8,7–1,5	24,5–7,5				
	30,2	6,0–27,0	5,5–0,95	30,6–13,2				
	30,2	8,0–22,0	9,0–22,0	30,6–13,2				
	39,2	8,0–22,0	3,2–0,9	40,0–33,5				
	30,2	9,0–22,0	1,8–0,55	46,5–42,5				
	45,2	9,0–22,0	1,8–0,55	46,5–42,5				
Галичанин КС-55729-5В	9,6	3,0–7,5	32,0–11,6	10,2–6,0	4,65	11,9	2,5	3,95
	16,2	3,0–14,0	13,9–3,7	17,8–7,3				
	24,2	5,0–22,0	8,7–1,5	25,0–8,0				
	30,2	6,0–27,0	5,5–0,95	31,3–12,7				
Челябинец КС 55730 гусек 8 м	9,6	2,8–8,0	32,0–7,25	11,0–4,9	3,65	11,5	2,5	4,0
	15,6	5,0–14,0	13,8–2,2	16,4–5,4				
	21,6	7,0–20,0	7,5–1,06	22,0–6,0				
	21,6	10,0–25,0	3,2–0,55	30,0–16,0				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли-на стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузо-подъем-ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад-ний габарит, м	Габариты, м		
						Дли-на	Ши-рина	Высо-та
Челябинец КС-55733	10,3 13 15,6 18,3 21 23,6 26,3	3,0–8,5 3,0–11,0 3,5–13,0 5,0–16,0 6,0–19,0 6,5–21,0 7,0–24,0	32,0–7,6 24,0–5,2 16,0–3,7 10,5–2,58 8,0–1,84 7,3–1,48 5,5–1,12	10,5–3,5 13,7–4,5 16,2–6,8 18,5–6,4 21,0–5,2 23,6–8,0 26,4–7,0	3,4	11,98	2,5	3,95
Челябинец КС-5576Б	9 12 15 18 21	2,0–7,0 2,2–10,0 2,8–13,0 3,5–16,0 4,5–19,0	32,0–7,3 15,0–3,85 12,0–2,3 8,5–1,5 6,0–1,0	9,8–5,0 13,0–5,6 15,8–6,0 18,8–7,0 21,5–8,0	2,8	11,6	2,5	3,95
ЕЛАЗ КС-55719Е КС-55719Е-1	9 15,9 22,8 30,3	1,5–7,8 4,0–14,0 5,5–19,0 7,5–20,0	32,0–7,9 16,0–2,2 9,5–1,0 4,5–0,7	10,5–5,5 17,5–6,5 23,5–12,0 31,0–23,0	–	8,115	2,5	3,95
Ульяновец МКТБ-30 гусек 6 м гусек 9 м гусек 12 м	9,7 15,7 21,7 21,7 21,7	3,0–8,0 5,0–14,0 6,5–18,5 8,0–17,0 10,0–17,0 11,0–17,0	30,0–5,5 10,4–1,2 6,5–0,75 2,0–0,4 1,8–0,2 1,6–0,1	10,0–5,0 16,2–5,0 21,8–9,5 27,0–22,0 29,5–25,0 32,5–27,5	2,45	12,14	2,5	3,65
Грузоподъемность 36 тонн								
Ивановец КС-55717Б гусек 7,15 м	9,9 13,3 16,7 20,2 23,7 27,2 30,7 30,7	2,8–8,0 3,0–10,0 4,0–14,0 4,8–18,0 6,0–20,0 7,0–24,0 8,0–28,0 10,0–30,0	36,0–9,9 27,0–5,9 27,0–2,8 22,0–1,77 12,7–1,49 9,3–0,95 7,3–0,61 4,0–0,66	11,0–4,4 15,0–8,0 17,8–7,0 21,0–5,5 24,5–11,0 27,8–12,0 31,4–11,2 38,0–22,0	3,3	11,5	2,5	3,98

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли-на стре-лы, м	Вылет стрелы, м	Грузо-подъем-ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад-ний габа-рит, м	Габариты, м		
						Дли-на	Ши-рина	Высо-та
Грузоподъемность 40 тонн								
Клинцы КС-65719-1К гусек 9 м	11,2	3,0–9,0	40,0–12,0	12,0–4,7	3,85	13,5	2,5	3,95
	20	3,0–18,0	20,0–3,8	21,3–4,5				
	24	4,0–22,0	15,0– 2,55	25,0–5,0				
	30	5,0–28,0	10,0–1,4	31,0–5,0				
	34	6,0–32,0	7,0–0,85	35,0–5,0				
	34	7,0–28,0	4,0–0,6	44,0–32,7				
Челябинец КС-65711 гусек 8 м	43	7,0–28,0	4,0–0,6	44,0–32,7	3,2	10,47	2,5	3,99
	9	2,0–7,5	40,0–13,0	12,0–4,0				
	15	3,5–13,5	35,3–3,75	17,0–4,0				
	21	4,0–19,0	9,0–1,73	22,5–4,0				
	27	6,0–25,0	7,0–0,93	29,0–4,6				
	27	7,5–33,0	3,5–0,44	37,0–6,0				
Сокол (Самара) СКАТ-40 гусек 7,5 м	10,2	3,0–8,0	40,0–10,0	11,0–6,0	3,0	12,0	2,5	3,8
	12,2	3,0–8,0	30,0– 9,7	13,0–9,5				
	14,2	3,0–12,0	20,0–4,96	15,0–6,0				
	16,2	4,0–15,0	19,5–3,65	18,0–7,5				
	18,2	4,0–16,0	19,0–2,68	19,0–7,0				
	20,2	4,0–18,0	18,0–2,1	21,0–8,5				
	22,2	4,0–19,0	16,0–1,6	23,0–10,0				
	24,2	5,0–20,0	12,0–1,25	25,0–12,0				
	26,2	6,5–22,0	9,15–0,76	26,0–13,0				
	26,2	8,0–27,0	3,0–0,31	34,0–18,0				
	33,7	8,0–27,0	3,0–0,31	34,0–18,0				
Юргинец КС-65720-1 гусек 8 м	9,5	3,5–8,3	40,0–10,4	10,4–2,0	3,0	11,7	2,5	3,9
	15,8	3,5–14,7	26,6–2,8	17,1–2,0				
	23	6,0–21,8	11,5–1,3	24,0–2,0				
	28,5	7,5–27,3	7,3–0,7	29,5–2,0				
	28,5	8,5–25,0	2,4–0,8	37,5–28,5				
Грузоподъемность 50 тонн								
Галичанин КС-65713-1 гусек 9,1 м	11,5	3,2–9,0	50,0–17,5	11,6–5,8	4,55	13,95	2,5	3,98
	15	4,0–12,0	32,5–10,2	16,8–10,5				
	22	4,0–20,0	20,0–3,5	22,8–7,3				
	34,1	8,0–32,0	9,0–1,6	34,0–7,2				
	34,1	7,0–31,0	4,5–0,65	45,0–29,0				
	43,2	7,0–31,0	4,5–0,65	45,0–29,0				
гусек 15,1 м	34,1	9,0–32,0	2,2–0,4	51,0–39,0				
	49,2	9,0–32,0	2,2–0,4	51,0–39,0				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Галичанин КС-65713-5	11,5 15 22 30 34,1 34,1 43,2 34,1 49,2	2,5–9,0 3,0–13,0 4,0–20,0 6,0–28,0 7,0–32,0 7,0–32,0 7,0–32,0 9,0–32,0 9,0–32,0	50,0–17,6 32,5–8,6 20,0–4,0 13,0–1,9 9,0–1,5 4,5–0,5 4,5–0,5 2,2–0,4 2,2–0,4	12,0–5,7 17,0–9,0 23,0–7,3 30,5–6,7 34,3–7,3 44,7–29,0 44,7–29,0 51,0–39,0 44,7–29,0	4,55	13,96	2,5	4,26
Сокол (Самара) КС-6575С (Скат-50)	9,9 11,9 13,9 16,7 18,7 22,7 26,7 30,3 30,3 39,3	2,0–8,5 3,0–10,0 3,0–12,0 4,0–15,0 4,5–16,7 6,0–21,0 7,0–25,0 8,0–27,0 13,0–25,0 13,0–25,0	50,0–14,1 45,0–10,7 43,5–7,5 36,4–4,6 22,0–3,6 22,0–2,4 19,2–1,6 14,7–1,3 5,0–1,0 5,0–1,0	10,3–2,5 11,5–3,0 14,0–5,0 17,0–5,0 18,5–5,0 22,6–5,5 26,5–8,5 29,5–12,0 37,6–30,0 37,6–30,0	2,0	8,15	2,5	3,93
Грузоподъемность 60 тонн								
Галичанин КС-65721	11,7 13,2 19,2 28 34 42 42 51 42 57	2,0–10,0 2,0–11,0 3,0–17,0 5,0–26,0 6,0–32,0 7,0–34,0 10,0–32,0 10,0–32,0 10,0–30,0 10,0–30,0	60,0–14,0 45,0–13,5 30,0–5,6 20,0–2,15 14,0–1,1 8,5–0,9 4,5–0,5 4,5–0,5 2,2–0,55 2,2–0,55	13,5–3,5 15,0–6,0 20,7–6,7 29,5–6,7 35,5–7,5 43,5–24,3 51,6–40,4 51,6–40,4 58,0–49,5 58,0–49,5	5,45	14,12	2,5	3,98
Краны на спец. шасси автомобильного типа								
Грузоподъемность 25 тонн								
КС-5473 (Польша)	10 15 20 24 24	3,0–8,0 3,5–12,0 4,0–18,0 6,0–20,0 8,0–26,0	25,0–6,5 16,0–3,0 9,5–1,5 7,0–0,5 3,0–0,5	10,0–4,3 14,0–7,5 19,0–6,0 22,0–12,0 30,0–17,0	3,0	12,0	2,5	3,6

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли-на стре-лы, м	Вылет стрелы, м	Грузо-подъем-ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад-ний габа-рит, м	Габариты, м						
						Дли-на	Ши-рина	Высо-та				
Ивановец КС-54711	9 15 21 гусек 7 м	3,2–7,7 3,5–13,5 6,0–19,7 7,7–17,0	25,0–6,35 13,75–2,15 6,35–0,9 6,35–0,6	10,0–3,0 16,0–2,8 21,3–7,8 28,3–23,3	3,1	8,666	2,52	2,8				
Ивановец КС-54711Б	9 12 15 18 21 28	2,0–8,0 3,0–11,0 3,8–14,0 4,5–17,0 5,5–19,8 8,0–19,8	25,0–7,4 15,0–4,2 15,0–2,5 11,4–1,63 7,7–1,07 1,95–0,87	10,0–3,5 13,0–3,9 15,7–3,7 18,8–4,4 21,6–4,7 28,0–20,0								
Ивановец КС-54711-1	9 12 15 18 21 гусек 7 м	2,0–8,0 3,0–11,0 3,8–14,0 4,5–17,0 5,5–19,8 8,0–19,8	25,0–7,4 15,0–4,2 15,0–2,5 11,4–1,63 7,7–1,07 1,95–0,87	10,0–3,5 13,0–3,9 15,7–3,7 18,8–4,4 21,6–4,7 28,0–20,0					3,55	10,9	2,5	3,93
Ивановец КС-54712	9,9 16,5 22 30,1 гусек 7 м	3,2–7,0 3,5–14,0 6,0–18,0 8,0–24,0 14,0–24,0	25,0–11,4 16,0–3,1 10,3–2,1 5,5–1,23 1,7–0,7	11,8–7,4 17,0–7,4 23,8–12,2 30,2–10,6 35,6–28,7								
Юргинец КС-5871	9 12 15 17 20 гусек 7,5 м	3,0–7,5 3,0–10,4 3,0–13,4 3,0–15,4 3,0–18,4 4,0–25,5	25,0–6,4 14,6–4,1 10,6–2,6 9,0–2,0 7,2–1,4 2,6–0,5	9,2–1,3 12,4–1,3 15,7–1,3 17,7–1,3 20,8–1,3 27,8–2,0	3,25	10,75	2,5	3,5				
Грузоподъемность 30–32 тонны												
КС-5476А	9,5 14 18 22 26 30,1	3,0–9,0 3,2–12,0 5,0–16,0 7,0–20,0 8,0–24,0 9,0–27,0	32,0–9,7 22,0–4,0 10,0–2,0 8,3–1,1 7,8–0,6 5,1–0,3	макс. 29,3м					3,95	12,15	2,5	3,65

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Ивановец КС-59711	9,4 15,4 21,4 27,4 27,4	2,8–7,0 4,0–12,0 6,0–18,0 8,0–23,0 10,0–22,0	32,0–10,0 16,0–3,05 9,7–1,4 6,06–0,76 1,95–0,3	9,4–4,4 15,5–8,0 21,4–9,5 27,4–13,0 33,8–26,5	3,05	10,73	2,5	3,9
Ивановец КС 59712	8,7 14,8 20,9 27	3,0–6,0 3,0–12,0 4,0–18,0 4,5–24,0	30,0–15,0 17,0–5,1 14,0–2,7 8,0–1,1	8,8–4,0 15,8–5,0 22,0–6,0 28,0–7,0	2,85	10,11	2,55	3,634
Грузоподъемность 40 тонн								
Сокол (Самара) СТ 2-2-40 коротко-базовый	6,5 9,9 13,2 16,5 20 23,3 26,7 30	2,5–3,0 2,5–6,0 2,5–9,0 2,5–12,0 2,5–16,0 2,5–20,0 2,5–24,0 3,0–26,0	18,7–14,5 40,0–17,0 25,0–7,9 23,0–4,5 19,0–2,5 15,7–1,5 12,1–1,0 9,5–1,0	4,3–3,1 9,4–5,5 13,1–6,9 16,8–8,8 20,5–8,2 24,0–7,0 27,7–4,5 31,0–11,4	3,25	6,7	2,45	3,265
КС-6471 (Польша)	11 15 20 27 27	3,6–9,0 3,5–12,0 4,5–18,0 6,0–22,0 10,0–25,0	40,0–10,0 28,0–5,8 18,5–2,0 10,0–0,8 2,3–0,4	10,6–5,3 14,8–8,0 20,0–7,0 26,5–15,0 33,5–24,0	2,89	15,36	2,5	3,8
Грузоподъемность 50 тонн								
Камышин (Газакс) КС-6476	11,4 18,6 26 34 34 34	3,0–9,0 5,0–16,0 6,0–24,0 7,0–26,0 9,0–26,0 10,0–22,0	50,5–12,3 22,5–3,1 14,5–1,5 8,9–0,9 2,8–0,2 1,5–0,2	12,0–5,0 19,0–6,7 26,2–4,0 34,4–21,0 42,5–33,7 48,6–43,7	4,25	14,16	2,5	3,837

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Камышин (Газакс) КС-6478	11,4 15 18,6 22 26 30 34 34 34	3,0–9,0 4,0–12,0 5,0–16,0 5,0–18,0 6,0–20,0 6,0–22,0 7,0–22,0 9,0–20,0 10,0–18,0	50,5–11,5 32,2–5,9 22,5–2,5 15,3–2,0 14,5–1,65 13,1–1,31 8,9–1,39 2,8–0,6 1,5–0,5	12,0–5,0 15,4–7,0 19,8–6,7 22,6–10,0 26,4–15,5 30,5–19,7 34,7–25,7 42,4–37,6 48,6–45,4	4,55	14,4	2,5	4,0
Ивановец КС 6973А	10,6 17,4 24,2 31 31 31	1,5–8,0 2,8–14,0 5,0–21,0 7,0–28,0 8,0–26,0 11,0–24,0	50,0–12,5 32,0–4,4 18,8–1,8 11,2–0,85 3,3–0,4 1,6–0,5	10,8–5,5 17,7–9,0 24,0–11,0 30,7–11,6 40,0–30,0 45,0–39,0	4,0	13,5	2,5	3,81
Ивановец КС-6973Б	10,6 17,4 24,2 31 31 31	1,5–8,0 2,8–14,0 5,0–21,0 7,0–28,0 8,0–26,0 11,0–24,0	50,0–12,5 32,0–4,4 18,8–1,8 11,2–0,85 3,3–0,4 1,6–0,5	10,8–5,5 17,7–9,0 24,0–11,0 30,7–11,6 40,0–30,0 45,0–39,0	4,0	13,45	2,5	3,85
Сокол (Самара) СТ.3S, коротко-базовый	7,1 11,9 16,7 21,5 26,3 31,1 35,9 40,5	2,5–4,0 2,5–8,0 3,1–12,0 4,0–18,0 4,0–22,0 4,0–26,0 5,1–30,0 5,1–34,0	50,0–38,4 50,0–22,1 36,1–11,4 29,0–3,5 22,0–3,1 17,0–2,1 13,0–1,6 9,5–1,0	5,5–3,0 11,75–6,25 16,8–9,75 21,25–6,25 26,0–9,5 31,0–12,25 35,75–15,0 40,5–12,6	4,0	9,0	2,5	3,6
Краян КС-6473 (КШТ-50.01)	10,6 16 21 26,5 34,5 34,5 34,5	2,3–9,3 2,5–14,0 4,3–18,0 6,0–22,0 7,0–24,3 9,0–23,0 14,0–22,0	50,0–8,0 24,0–2,5 21,0–1,6 11,0–0,6 7,0–0,4 2,3–0,6 2,3–0,7	10,4–2,5 16,0–4,4 20,4–9,0 26,5–14,5 31,7–21,5 40,0–34,2 50,0–47,0	4,0	13,2	2,5	3,7

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Ивановец КС-6973БМ-У1 гусек 9 м гусек 15 м	10,6 16,4 23,2 30 30 30	3,0–9,0 3,0–14,0 5,0–21,0 7,0–26,0 8,0–26,0 10,0–22,0	50,0–12,7 32,0–4,72 19,0–2,05 11,4–1,26 3,18–0,4 1,6–0,5	11,0–5,5 17,7–7,5 24,0–7,8 31,0–14,0 40,0–29,5 45,0–40,0	4,0	13,83	2,75	3,975
Ивановец КС-6973 гусек 9,5 м гусек 15 м	11,4 13 15 18,6 22 26 30 34 34 34	3,0–9,0 3,5–11,0 4,0–12,0 5,0–16,0 5,0–20,0 6,0–24,0 6,0–28,0 7,0–32,0 9,0–32,0 9,0–28,0	50,5–17,6 35,0–12,3 32,5–10,2 22,5–5,6 19,0–3,8 14,5–2,6 13,1–1,85 8,9–1,3 3,5–0,8 2,2–0,6	5,1–34,4 5,1–49,4	–	13,45	2,5	3,85
Галичанин КС-64713-2 гусек 9,1 м гусек 15,1 м	11,5 15 22 30 34,1 34,1 43,2 34,1 49,2	2,5–9,0 3,0–13,0 4,0–20,0 6,0–28,0 7,0–32,0 7,0–32,0 7,0–32,0 9,0–32,0 9,0–32,0	50,0–17,6 32,5–8,6 20,0–4,0 13,0–1,9 9,0–1,5 4,5–0,5 4,5–0,5 22,0–0,4 22,0–0,4	12,0–5,8 17,0–9,0 23,0–7,3 30,5–6,6 34,3–7,3 44,7–29,0 44,7–29,0 51,0–39,0 51,0–39,0	4,25	13,96	2,55	3,98
Грузоподъемность 60–63 тонны								
Сокол (Самара) СТ.3Д, коротко-базовый	7,7 12,5 17,3 22 26,8 31,6 36,4 41,2 45,9	3,0–6,0 3,0–10,0 4,0–14,0 4,0–18,0 4,0–22,0 4,0–28,0 5,0–33,0 6,0–36,0 6,0–40,0	60,0–21,0 60,0–18,1 42,5–8,8 35,0–7,0 27,0–6,1 19,5–3,1 14,5–3,1 11,5–2,4 8,5–1,2	7,3–4,0 11,4–6,2 16,7–6,5 21,8–8,4 26,7–10,4 31,6–4,2 35,6–4,2 40,7–8,7 44,7–11,6	4,0	9,2	2,5	3,6

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли-на стре-лы, м	Вылет стрелы, м	Грузо-подъем-ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад-ний габа-рит, м	Габариты, м					
						Дли-на	Ши-рина	Высо-та			
Камышин (Газакс) КС-6476А	11,4 13 15 18,6 22 26 30 34	3,0–9,0 3,5–11,0 3,5–12,0 5,0–16,0 5,0–20,0 6,0–24,0 6,0–26,0 6,0–26,0	63,8–15,2 32,5–10,2 32,3–8,3 22,5–4,1 14,3–2,5 14,3–1,6 14,3–1,3 13,1–1,5	9,0–35,3	–	14,16	2,5	3,84			
гусек 9 м	34	9,0–26,0	2,78–0,18	9,0–50,0							
гусек 14,5 м	34	10,0–22,0	1,48–0,18								
Грузоподъемность 70–80 тонн											
Камышин (Газакс) КС-7976	9,2 12,2 15,2 21,3 27,3 33,3	3,0–7,0 3,0–10,0 4,0–12,0 5,0–18,0 7,5–24,0 9,0–30,0	70,0–22,2 63,0–14,0 35,0–11,0 20,0–4,5 13,5–3,0 8,0–2,0	9,2–34,0	–	13,62	3,2	4,15			
Камышин (Газакс) КС-7976А	11 14,9 18,8 22,6 26,5 34,3 42	3,0–9,0 3,5–12,0 3,5–16,0 4,0–20,0 5,0–24,0 6,0–32,0 7,0–34,0	80,0–18,2 40,0–10,6 40,0–5,8 27,0–3,1 23,0–1,4 15,0–0,5 8,0–0,6	10,5–42,0							
гусек 9 м	42	6,0–32,0	4,5–0,8								
гусек 16 м	42	8,0–32,0	2,5–0,8								
КС-7472 (Польша)	12,6 22,1 29,6	10,0–3,5 16,0–4,0 24,0–5,0	80,0–19,5 50,0–2,3 26,0–2,0	12,3–5,7 21,4–13,5 29,7–18,6	4,6	16,0	3,0	3,7			
Грузоподъемность 100 тонн											
Ивановец КС-8973	13 17,7 22,4 31,9 41,4	3,0–10,0 3,0–15,0 3,0–18,0 5,0–28,0 7,0–36,0	100–28,3 68,8–11,9 58,0–10,7 32,0–4,5 18,1–2,5	12,6–6,0 17,7–7,0 22,3–11,7 31,5–10,0 41,5–14,2	3,6	15,04	2,99	3,91			
гусек 10 м	41,4	8,0–42,0	5,0–0,7	51,7–28,0							
гусек 16 м	41,4	10,0–46,0	5,0–0,4	57,7–34,0							

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Пневмоколесные краны								
Грузоподъемность 16 тонн								
ЮргинецКС-4361 (К-161)	10 15 20 25	3,75–10,0 5,0–13,5 6,5–17,0 7,5–23,0	16,0–3,0 9,0–2,0 5,25–1,1 4,0–0,3	8,8–3,7 13,5–7,8 18,3–17,4 22,8–11,4	3,0	14,0	3,15	3,93
ЮргинецКС-4361А	10,5 15,5 20,5 25,5	4,0–10,0 5,0–13,5 6,5–17,0 7,5–23,0	16,0–3,4 9,0–2,0 5,3–1,2 3,5–0,5	10,0–5,3 15,0–9,1 20,0–12,8 25,0–12,8	3,18	14,5	3,15	3,9
МКП-16 гусек 2,3 м	10 15 23 23	4,1–10,0 5,0–9,0 7,5–9,0 9,0–22,0	16,0–4,0 11,5–2,0 5,5–1,0 4,0–0,8	10,5–6,0 15,0–10,0 25,0–15,0 26,0–17,0	–	14,5	3,2	4,0
Грузоподъемность 20–25 тонн								
Юргинец КС-4372В гусек 7 м	9 15 18 18	3,0–6,4 3,1–12,3 3,1–15,3 3,8–22,3	20,0–8,9 10,9–3,4 8,9–2,3 2,5–1,0	7,6–1,4 14,2–1,4 17,4–1,4 24,5–1,0	3,0	10,2	2,5	3,5
МКП-25А	12,5 14,1	3,5–12,0 3,0–13,5	25,0–5,4 25,0–4,0	12,0–7,3 14,1–8,0	3,85	13,9	3,2	4,0
К-255 К-255С гусек 5 м	15 20 25 25	4,5–13,2 5,5–18,0 6,5–18,5 11,0–12,0	25,0–4,0 17,0–1,85 13,0–2,0 5,5–5,0	14,0–0,4 18,0–10,2 23,0–15,2 25,2–25,0	3,15	20,15	3,1	3,98
Юргинец КС-5871 гусек 7 м	9 12 15 17 20 20	3,0–7,5 3,0–10,4 3,0–13,4 3,0–15,5 3,0–18,5 4,0–25,5	25,0–6,4 14,6–4,1 10,6–2,6 9,0–2,0 7,2–1,4 2,6–0,5	9,2–1,3 12,4–1,3 15,7–1,3 17,7–1,3 20,8–1,3 27,8–2,0	3,0	10,75	2,5	3,5

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли-на стре-лы, м	Вылет стрелы, м	Грузо-подъем-ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад-ний габарит, м	Габариты, м			
						Дли-на	Ши-рина	Высо-та	
Грузоподъемность 40 тонн									
МКТ-40	15	3,5–15,0	40,0–4,5	15,5–7,5	3,1	12,7	4,1	4,2	
гусек 5 м	20	10,0–20,5	7,0–2,0	20,0–12,5					
гусек 5 м	25	4,0–16,0	32,0–4,0	20,5–14,0					
гусек 5 м	25	11,0–21,0	7,0–2,2	25,1–17,2					
КС-5363В	25	4,6–17,0	25,0–2,5	25,6–20,5	3,8	14,1	4,69	3,9	
		12,0–22,0	7,0–2,2	30,1–26,0					
	15	3,9–13,8	40,0–3,8	14,0–8,0					
	17,5	3,9–15,9	25,0–3,0	16,3–9,4					
	20	5,5–18,0	18,0–2,0	18,8–10,2					
	22,5	5,4–20,1	18,0–1,5	20,3–11,0					
	25	6,5–22,1	12,0–0,6	22,2–12,0					
27,5	6,2–18,8	12,0–1,5	25,2–16,8						
30	7,5–20,3	8,4–1,0	27,5–21,7						
Грузоподъемность 63 тонны									
МКТТ-63	12,2	3,5–10,0	63,0–14,0	12,0–4,0	4,14	14,6	3,0	4,0	
	15,2	4,0–12,0	35,0–11,0	15,0–7,5					
	21,3	5,0–18,0	20,0–4,5	21,0–8,5					
	23,3	7,0–24,0	13,5–3,0	26,2–10,0					
	33,3	10,0–30,0	8,0–2,0	32,0–11,0					
Грузоподъемность 100 тонн									
КС-8362Д	15	5,2–15,0	100,0–20,0	13,0–5,8	–	26,9	3,18	4,5	
	20	4,3–12,0	100,0–19,0	18,1–15,5					
	25	5,8–14,5	70,0–11,0	23,0–20,0					
	30	6,3–16,7	60,0–8,0	28,0–24,5					
МКТ-100	22	6,0–10,0	100,0–12,3	23,0–15,9	–	18,0	3,2	4,0	
МКТТ-100	12,5	3,5–11,0	100,0–19,5	12,8–3,0	–	17,8	3,2	4,0	
Гусеничные краны									
МКГ-16М	10	4,0–6,0	16,0–8,5	10,0–9,5	3,65	15,3	3,22	3,6	
	18	5,5–16,0	9,0–1,6	18,0–12,0					
	26	8,0–20,0	4,6–0,8	24,3–18,9					
Юргинец КС-4671	7,6	3,0–6,4	20,0–8,9	8,0–1,5	2,5	9,13	3,12	3,66	
	12,1	3,0–11,5	11,7–4,3	13,4–1,3					
	16,5	3,0–15,3	8,9–2,3	17,4–1,4					
	16,5	3,0–22,4	2,5–1,0	24,5–1,4					
	удлин. 7 м	16,5	5,0–28,6	1,2–0,4					30,0–1,2
	гусек 6,3 м	16,5							

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
МКГ-25БР гусек 5 м	13,5 18,5	2,5–13,0 2,7–13,0	25,0–6,0 25,0–4,0	13,2–6,0 18,0–13,5	4,38	6,45	3,2	3,92
РДК-250-3 башня 15,3 м	15,3 10	4,0–14,5 4,5–11,0	25,0–2,8 20,0–6,2	15,2–8,7 23,0–15,8	4,72	7,08	3,23	3,35
башня 27,5 м	20	7,0–20,0	8,0–1,4	33,0–15,4				
ДЭК-251 гусек 5 м	14	4,75–13,6	25,0–4,0	13,5–7,0	4,44	6,94	4,76	3,65
гусек 5 м	19	5,2–17,8	15,0–2,0	18,5–10,0				
гусек 5 м	22,75	5,8–20,8	13,4–1,9	22,5–12,2				
гусек 5 м	24	6,0–21,8	12,5–1,8	23,7–12,9				
башня 19 м	10	4,8–11,6	15,0–5,0	28,0–19,6	4,54	6,45	3,2	3,92
башня 24 м	10	5,0–11,8	15,0–5,0	32,6–24,6				
МКГ-25.01Б	6,8	3,0–5,7	25,0–5,8	4,3–2,1				
	8,8	3,4–7,2	25,0–5,8	6,3–3,5				
	10,8	3,8–8,6	25,0–5,8	8,2–4,8				
	16,8	5,0–13,0	25,0–5,6	14,1–8,9				
гусек 5 м	16,8	9,2–17,1	5,0–3,8	16,9–8,9				
гусек 5 м	21,8	8,2–17,8	5,0–3,6	22,5–16,8				
гусек 5 м	26,8	8,7–18,7	5,0–2,8	27,5–23,5				
гусек 5 м	31,8	9,3–19,6	5,0–2,1	32,4–27,9				
гусек 5 м	36,8	9,9–20,1	4,8–1,4	37,2–33,5				
башня 16,8 м	10	4,2–11,2	21,0–7,0	25,2–17,8				
башня 21,8 м	15	5,6–16,2	13,2–4,5	34,7–24,1				
башня 21,8 м	20	6,9–21,1	8,2–2,5	39,5–25,4				
башня 26,8 м	15	5,8–16,4	12,2–4,2	39,7–29,1				
башня 26,8 м	20	7,1–21,2	6,6–2,3	44,5–30,3				
башня 31,8 м	20	7,3–21,4	5,0–1,8	49,5–25,3				
башня 31,8 м	25	8,6–26,2	2,5–0,5	54,3–36,6				

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Дли-на стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузо-подъем-ность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Зад-ний габарит, м	Габариты, м		
						Дли-на	Ши-рина	Высо-та
Юргинец КС-5671	8,33	3,0–7,2	25,0–6,7	8,5–1,2	3,54	10,15	3,2	3,68
КС-5671-1	11	3,0–9,8	17,4–4,4	11,5–1,2		10,15	3,48	3,95
	14	3,0–12,8	12,1–2,7	14,8–1,2				
	17	3,0–15,7	9,4–1,8	17,7–1,2				
	20	3,0–18,8	7,3–1,2	20,8–1,2				
гусек 7 м	20	4,3–23,5	2,4–0,35	27,8–12,7				
Челябинец ДЭК-321	14	3,7–13,5	32,0–5,0	13,8–7,0	4,5	7,567	3,2	2,93
гусек 7 м	14	6,6–18,0	5,0–2,0	18,0–9,5				
	16,5	4,5–13,7	25,0–4,0	16,3–10,8				
гусек 7 м	16,5	7,6–18,5	5,0–1,8	20,8–13,0				
	19	5,0–17,7	14,7–2,7	19,0–9,9				
гусек 7 м	19	8,5–23,0	5,0–1,5	22,8–10,3				
	22,75	5,7–21,0	13,4–2,2	22,4–12,4				
гусек 7 м	22,75	9,2–26,3	5,0–1,2	26,0–13,2				
	24	6,0–21,8	12,5–1,9	23,6–12,8				
гусек 7 м	24	9,5–27,5	5,0–1,0	27,8–13,0				
	27,75	6,5–24,9	10,6–1,3	27,5–15,5				
гусек 7 м	27,75	10,0–27,0	5,0–0,9	31,0–20,7				
	32,75	7,8–19,8	7,0–1,7	32,3–27,4				
гусек 7 м	32,75	10,7–24,5	3,8–0,9	36,0–29,8				
МКГ-40	15,8	5,0–14,0	40,0–8,2	13,5–7,5	4,7	7,43	4,3	4,27
гусек 6 м	20,8	6,4–18,8	23,0–3,5	18,5–9,5				
СКГ-401	17	5,5–15,0	40,0–8,3	15,8–10,1	4,0	6,475	4,6	4,3
гусек 5 м	17	7,5–19,0	5,0	19,8–17,2				
	22	5,8–19,0	35,0–5,2	20,7–12,3				
гусек 5 м	22	8,5–20,0	5,0	25,1–17,3				
	27	5,9–19,0	26,0–4,0	25,5–19,2				
гусек 5 м	27	9,5–20,0	5,0	30,0–24,0				
	32	6,8–18,0	18,0–5,0	30,6–26,3				
гусек 5 м	32	10,0–18,0	5,0	34,8–31,5				
РДК-400	16	4,3–15,2	40,0–7,5	15,65–9,2	4,0	6,9	4,5	4,3
	гусек 6 м	16	5,0–15,15	38,0–5,6	15,65–9,2	главный подъем		
21		10,0–21,4	8,0–4,0	19,4–8,15	вспомогательный подъем			
		4,8–19,0	29,4–3,8	20,9–12,4	главный подъем			
		10,4–25,2	8,0–3,0	24,7–11,35	вспомогательный подъем			

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
гусек 6 м	26	5,25–21,3	21,3–2,8	25,9–17,45	главный подъем			
гусек 6 м	31	10,8–27,6	8,0–2,2	29,65–16,9	вспомогательный подъем			
		5,75–22,8	16,4–1,8	30,85–22,9	главный подъем			
		11,3–29,3	7,5–1,5	34,65–22,9	вспомогательный подъем			
ДЭК-50	15	6,0–14,0	50,0–14,8	13,3–8,2	5,0	7,5	5,0	5,3
	30	8,0–26,0	30,0–5,4	28,2–16,8				
	40	10,0–34,0	15,0–2,5	38,6–23,7				
гусек 10 м	15	13,8–24,0	7,0	20,7–9,9				
башня 38 м	10	15,6–28,0	10,0–5,0	49,9–30,0				
Ивановец ДГК-50.1	11	3,0–12,0	50,0–15,2	11,0–1,6	5,0	12,0	3,0	3,354
	16	3,0–17,0	48,2–9,3	15,0–1,7				
	21	3,5–22,0	39,3–6,3	20,0–2,0				
	26	4,0–27,0	37,2–4,2	25,0–2,5				
	31	4,3–32,0	39,6–2,8	30,0–2,7				
	36	4,3–37,0	24,9–1,7	35,0–3,2				
	41	5,0–42,0	29,8–0,7	40,0–3,5				
	46	6,0–36,0	19,0–0,6	45,0–29,0				
	51	6,0–32,0	17,6–0,8	50,0–39,8				
Челябинец ДЭК-631	18	5,1–16,0	63,0–12,9	16,0–9,2	5,93	9,06	5,4	3,7
ДЭК-631А	24	5,8–20,7	45,0–7,2	19,0–13,1	главный подъем			
гусек 10 м	30	12,0–30,5	10,0–4,7	30,3–15,3	вспомогательный подъем			
		6,7–25,2	40,0–5,9	27,9–16,9	главный подъем			
гусек 10 м	36	12,8–35,0	10,0–2,9	36,2–19,1	вспомогательный подъем			
		7,5–29,9	30,0–3,6	27,9–16,9	главный подъем			
гусек 10 м	42	13,7–39,7	10,0–1,3	42,2–23,0	вспомогательный подъем			
		8,4–34,5	3,6–1,9	33,9–20,8	главный подъем			
гусек 10 м	15,2	14,5–31,4	9,0–1,87	48,0–40,2	вспомогательный подъем			
		11,2–18,6	12,2–4,2	49,8–43,3				
башня 36 м	24	14,5–26,2	10,0–3,0	57,9–47,6				
КС-7163	15	5,1–14,0	63,0–12,0	13,2–7,5	4,6	6,0	5,0	4,48
Сокол-80 (Самара)	10,17 17,67	2,7–8,0 5,6–15,5	80,0–43,0 80,0–14,0	9,3–0,5 16,2–0,5	4,2	12,5	3,38	3,95
КС-8165	20	6,0–12,5	100,0–30,0	18,1–15,7	5,3	8,75	6,1	–

Продолжение табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
МКГ-100 гусек 4,5 м гусек 4,5 м башня 31 м башня 31 м башня 51 м башня 51 м	21 31 41 16 30 16 30	4,5–22,3 6,1–29,1 6,6–32,0 8,0–17,9 10,2–31,3 8,4–18,1 10,6–31,7	100,0–9,5 20,0–6,0 20,0–4,0 40,0–28,8 40,0–12,3 40,0–27,0 40,0–10,3	20,0–7,0 32,0–17,0 41,0–29,0 45,0–32,0 60,0–42,0 65,0–52,0 80,0–55,5	6,8	9,1	7,65	4,25
КС-8161А гусек 10 м башня 35 м башня 35 м	20 30 40 20 19 29	6,0–18,0 8,0–26,0 8,0–34,0 10,0–27,0 7,9–21,0 11,0–31,0	100,0–15,0 63,0–8,0 30,0–3,0 15,0–8,5 25,0–15,0 25,0–8,0	18,0–11,0 29,5–18,0 37,5–23,0 27,0–14,0 52,0–34,5 61,5–34,5	5,6	10,3	5,0	–
Ульяновец МКГС-100.1 гусек 12 м гусек 12 м гусек 12 м гусек 12 м гусек 12 м башня 29 м башня 43 м башня 50 м башня 57 м башня 29 м башня 43 м башня 50 м башня 57 м башня 29 м башня 43 м башня 50 м башня 57 м	22 29 36 43 50 57 22 29 36 43 50 26 26 26 26 33 33 33 33 40 40 40 40	6,5–18,0 8,0–24,0 9,0–24,0 9,0–27,0 9,0–30,0 9,0–36,0 15,0–24,0 15,0–28,0 15,0–30,0 15,0–30,0 15,0–30,0 20,0–28,0 19,0–30,0 19,0–28,0 19,0–28,0 13,0–33,0 14,0–32,0 14,0–32,5 14,5–32,5 16,0–40,0 18,0–40,0 16,5–40,0 17,0–40,0	100–13,5 50,0–13,0 42,2–12,5 41,8–10,2 35,7–8,0 35,8–3,0 25,0–11,2 24,6–7,8 24,0–6,0 24,0–6,0 24,0–4,7 17,0–10,5 17,0–10,5 18,2–10,5 17,4–10,4 27,0–7,7 25,0–8,0 25,0–7,7 22,3–7,5 22,5–4,4 18,5–4,2 18,5–4,2 17,5–4,0	20,7–13,9 28,0–18,0 35,0–28,0 42,0–34,0 49,0–40,0 55,0–45,0 29,0–24,0 36,0–27,0 43,0–35,0 51,0–43,0 58,0–51,0 47,0–37,0 66,0–59,0 69,0–56,0 78,0–69,0 61,0–41,0 75,0–55,0 81,0–61,0 88,0–74,0 65,0–40,0 80,0–60,0 81,5–66,0 93,0–75,0	6,8	6,3	6,3	3,8

Окончание табл. П.2.57

Марка крана	Длина стрелы, м	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность основного крюка, т	Высота подъема крюка, м	Задний габарит, м	Габариты, м		
						Длина	Ширина	Высота
Ульяновец МКГС-125.01	22	6,5–20,0	150–23,0	20,5–10,6	6,8	11,4	7,3	4,0
гусек 12 м	22	8,0–23,0	59,0–7,0	29,7–20,8				
	29	7,0–24,0	97,7–19,7	27,3–17,0				
гусек 12 м	29	16,0–36,0	25,0–9,0	35,7–17,9				
	36	8,0–29,0	75,6–13,3	39,2–17,8				
гусек 12 м	36	16,0–42,0	23,0–6,6	42,6–27,3				
	43	9,0–38,0	60,8–9,3	41,2–26,9				
гусек 12 м	43	18,0–46,0	23,8–5,0	49,6–28,2				
	50	10,0–39,0	53,5–6,9	48,1–25,0				
гусек 12 м	50	18,0–52,0	22,8–3,25	56,5–33,1				
башня 29 м	26	12,0–28,0	40,0–15,2	52,9–36,4				
башня 43 м	26	12,0–29,0	40,0–14,8	67,1–49,4				
башня 50 м	26	12,5–29,5	38,2–14,5	74,1–56,0				
башня 57 м	26	13,0–30,0	36,4–14,2	81,0–62,4				
башня 64 м	26	13,5–30,5	35,0–13,9	88,0–68,8				

Таблица П.2.58

Справочные данные для башенных кранов

Марка крана	Вылет стрелы, м	Грузоподъемность, т	Высота подъема крюка, м	Колея×база, м	Глубина опускания, м	Грузовой момент, тм
МСК - 5- 20	10,0–20,0	5,0	38,0–26,0	4,5×4,5	—	—
МСК-10-20	10,0–20,0	10,0	46,0–36,0	4,5×4,5	—	—
КБ.100.0А	10,0–20,0	5,0	33,0–21,0	4,5×4,5	3,0	100
КБ-314	34,0–43,0	5,0–1,0	41,7–21,0	4,0×4,0	3,0	—
КБ-100.3	12,5–25,0	8,0–4,0	48,0–33,0	4,5×4,5	3,0	100
КБ-308(А)	4,8–25,0	8,0–4,0	42,0–32,0	4,5×4,5	5,0	125
КБ-309ХЛ	12,5–25,0	8,0–5,0	37,0–22,0	4,5×4,5	5,0	125
КБ-401А	13,0–25,0	8,0–5,0	60,0–41,0	4,5×4,5	5,0	125
КБ-402Б	20,0–25,0	8,0–5,0	60,0–46,0	6,0×6,0	10,0	125

Окончание табл. П.2.58

Марка крана	Вылет стрелы, м	Грузо-подъемность, т	Высота подъема крюка, м	Ко-лея×база, м	Глубина опускания, м	Грузовой момент, тм
КБ-403	5,6–30,0	8,0–3,0	57,5–41,0	6,0×6,0	5,0	120
КБ-403Б(Б.1)	5,6–30,0	8,0–3,7	54,7(49,1)–41(36,4)	6,0×6,0	5,0	120
КБ-403Б.2(Б.3)	5,6–30,0	8,0–4,3	43,5(29,8)–37,9(24,2)	6,0×6,0	5,0	132
КБ-414 (01,02,03)	9,5–37,0	18,4–5,0	40,4–13,0	–	–	189–248
КБ-404.4	9,5–37,0	18,4–5,0	32,2–4,8	–	–	203–252
КБ-405-1А	13,0–25,0	10,0–7,5	57,8–46,0	6,0×6,0	5,0	187,5
КБ-405-1А	13,0–25,0	10,0–7,5	57,8–46,0	6,0×6,0	5,0	187,5
КБ-405-2А	13,0–25,0	9,0–6,3	63,4–51,6	6,0×6,0	5,0	162,5
КБ-406	5,5–25,0	10,0–8,0	12,0	–	–	200
КБ-407ХЛ	16,0–25,0	10,0–6,3	52,4–41,8	–	–	160
КБ-408	5,5–25,0	10,0–6,0	57,8–46,6	6,0×6,0	5,0	160
КБ-408.21	4,5–40,0	10,0–3,0	72,2–31,6	7,5×7,5	5,0	160–200
КБ-473	20,5–50,0	8,0–2,0	122–164	–	–	–
КБ-474	20,5–50,0	8,0–2,0	162,0	–	–	–
КБ-503Б	7,5–45,0	10,0–4,0	73,0–53,0	7,5×8,0	5,0	200
КБ-504	7,5–45,0	10,0–4,5	80,0–60,0	7,5×8,0	5,0	200
КБ-572 (А,Б)	4,0–35,0	10,0–6,3	13,5	–	10,0	250–300
КБ-578	4,0–30,0	10,0–7,0	13,5	–	10,0	300
КБ-507	6,0–40,0	12,5–7,0	14,5–21,0	–	5,0–10,0	180–312
КБ-586	1,9–65,0	10,0–2,2	64,0–180,0	6,0×6,0	–	216
КБ-573А	2,5–40,0	8,0–4,0	153,0–73,0	7,5×8,0	5,0	180
КБ-674А-4	4,0–35,0	25,0–10,0	46,0	7,5×7,5	5,0	400
КБ-675	3,5–50,0	12,5–5,6	114,0	7,5×7,5	5,0	320
КБ-676	3,5–35,0	25,0–5,6	82,0	7,5×7,5	5,0	400
БК-1000Б	12,5–45,0	63,0–16,0	88,0–47,0	10,0×10,0	5,0	1000

Расчет выдерживания бетона и выбор тепловой защиты конструкций различной массивности по таблицам

При расчете сложные вычислительные операции были заранее выполнены на ПК, а все необходимые выходные параметры выдерживания бетона занесены в таблицы.

Выполняя ориентировочные расчеты, предназначенные для предварительной оценки возможностей метода в конкретных условиях, используются непосредственно данные таблиц (см. пример расчета).

Расчет выдерживания бетона и выбор тепловой защиты по таблицам позволяет решать задачу термосного выдерживания бетонов класса В15, В22,5, В30 на портландцементе марок 400 и 500, а также бетона класса В22,5 на шлакопортландцементе марки 400 для конструкции с $2 < M_n < 10$.

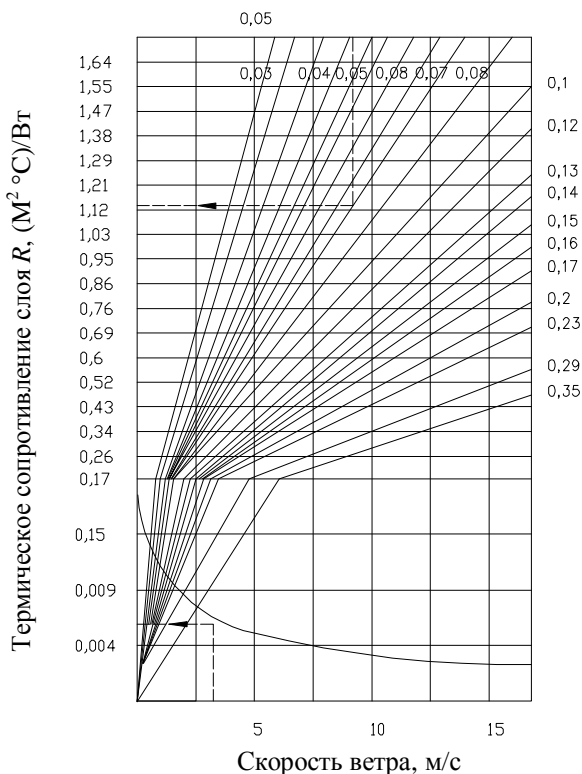
Расчет ведется по табл. П.3.1–3.6, а также по номограмме, представленной на рисунке. В вышеуказанных таблицах данные расположены по вертикали (одно под другим): верхнее – полное термосопротивление опалубки, среднее – температура окончания выдерживания бетона, нижнее – время выдерживания в зависимости от M_n , класса бетона, типа цемента, его расхода на 1 м^3 бетона, требуемой прочности бетона к моменту окончания его выдерживания (70 или 100 % от R_{28}), температуры наружного воздуха.

Последовательность решения задачи заключается в отыскании начальной температуры бетона, требуемой к моменту распалубки прочности бетона, необходимого термического сопротивления опалубки, температуры и времени окончания выдерживания бетона, выборе конструкции и определении толщины слоев опалубки.

Если конструкция опалубки задана, по таблицам можно подобрать необходимую начальную температуру бетона, а так-

же температуру и время окончания его выдерживания для получения требуемой прочности.

Произведя анализ основных параметров, можно установить, что повышение начальной температуры с 25 до 50 °С позволит в 2–2,5 раза снизить термическое сопротивление опалубки с изоляцией и сократить на 20–35 % время выдерживания бетона. Практически применение электроразогрева бетонной смеси позволит отказаться от тепловой изоляции опалубки и увеличить ее оборачиваемость.



Номограмма для определения термического сопротивления теплоотдачи опалубки в зависимости от расчетной скорости ветра и термических сопротивлений слоев опалубки соответствующих толщин и коэффициентов теплопроводности

Портландцемент М400, конечная прочность 70 % от R₂₈

Модуль поверхно- сти, м ⁻¹		Марка бетона	Расход цемента, кг/м ³	Начальная температура бетона, °C									
				Температура среды, °C									
				50									
25		50											
		0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40		
2	200	226	0,192 5 180	0,344 5 158	0,480 5 150	0,618 5 148	0,72 5 143	0,109 5 139	0,198 5 120	0,258 5 111	0,318 5 106	0,378 5 106	
		400	0,12 5 161	0,206 5 135	0,275 5 124	0,353 5 120	0,412 5 116	0,086 5 126	0,122 5 98	0,147 5 80	0,176 5 74	0,206 5 68	
		300	0,152 5 167	0,258 5 144	0,344 5 135	0,455 5 132	0,55 5 129	0,088 5 132	0,146 5 102	0,198 5 95	0,215 5 79	0,249 5 74	
	300	500	0,03 5 153	0,184 5 127	0,223 5 117	0,318 5 114	0,397 5 111	0,07 5 124	0,103 5 92	0,129 5 77	0,155 5 70	0,181 5 66	
		226	0,37 5 152	0,617 5 139	0,81 5 130	1,0 5 126	1,18 5 123	0,197 5 100	0,27 5 80	0,336 5 75	0,404 5 71	0,482 5 71	
		400	0,252 5 132	0,353 5 110	0,452 5 100	0,55 5 95	0,653 5 94	0,138 5 84	0,184 5 67	0,232 5 63	0,293 5 61	0,31 5 56	
4	200												

Модуль поверх- ности, м ²	Марка бетона	Расход цементa, кг/м ³	Начальная температура бетона, °С									
			25					50				
			Температура среды, °С									
			0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40
	300	0,293	0,438	0,575	0,73	0,86	0,181	0,206	0,282	0,344	0,37	
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		138	125	117	114	113	90	73	67	65	61	
	500	0,198	0,284	0,361	0,446	0,525	0,119	0,161	0,189	0,232	0,262	
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		117	98	91	88	87	82	63	57	55	52	
	200	0,875	1,48	1,91	2,49	2,72	0,432	0,60	0,755	0,87	1,04	
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		136	125	122	119	117	84	74	64	60	59	
10	400	0,603	0,86	1,11	1,14	1,53	0,21	0,43	0,517	0,593	0,69	
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		110	100	95	93	91	71	58	52	50	49	
	300	0,735	1,09	1,4	1,7	2,02	0,388	0,5	0,62	0,73	0,81	
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		128	113	109	107	104	77	64	58	56	55	
	300	0,507	0,69	0,86	1,03	1,2	0,284	0,37	0,42	0,49	0,557	
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		106	94	88	85	83	62	52	45	45	44	

Примечание. В табл. П.3.1 – П.3.4 приведены значения трех параметров: верхняя строка – термическое сопротивление ограждения, м²·°С/Вт; средняя строка – температура окончания выдерживания бетона, °С; нижняя – время выдерживания, ч.

Портландцемент М400, конечная прочность 100 % от R_{28}

Модуль поверхно- сти, м ⁻¹	Марка бетона	Расход цемента, кг/м ³	Начальная температура бетона, °С																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
			25					50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			Температура среды, °С																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
			0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	200	226	0,73 5 599	1,02 5 497	1,43 5 474	1,73 5 450	2,04 5 439	0,28 5 334	0,48 5 282	0,58 5 258	0,69 5 238	0,77 5 235																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			0,36 5 398	0,48 5 332	0,64 5 320	0,73 5 294	0,83 5 287	0,22 5 284	0,36 5 212	0,46 5 195	0,56 5 180	0,63 5 174																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			0,55 5 451	0,75 5 378	0,9 5 367	1,14 5 355	1,29 5 347	0,24 5 306	0,41 5 257	0,49 5 237	0,58 5 216	0,67 5 210																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	300	500	0,25 5 338	0,38 5 293	0,54 5 276	0,63 5 265	0,73 5 258	0,19 5 256	0,32 5 198	0,42 5 178	0,48 5 170	0,55 5 105																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			1,46 5 576	1,95 5 465	2,31 5 410	2,75 5 395	3,2 5 388	0,65 5 290	0,76 5 242	1,0 5 230	1,18 5 228	1,38 5 220																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			0,69 5 372	1,09 5 328	1,44 5 312	1,84 5 294	3,1 5 290	0,55 5 228	0,66 5 190	0,81 5 178	0,99 5 173	1,19 5 158																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	200	226																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Модуль поверхно- сти, м ⁻¹	Марка бетона	Расход цемента, кг/м ³	Начальная температура бетона, °С											
			25						50					
			Температура среды, °С											
			0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40		
10	300	300	0,89 5 425	1,36 5 372	1,73 5 358	2,06 5 350	2,45 5 340	0,59 5 280	0,69 5 216	0,88 5 196	1,06 5 190	1,26 5 186		
			0,59 5 317	0,85 5 275	1,13 5 266	1,36 5 260	1,99 5 252	0,54 5 220	0,63 5 178	0,78 5 164	0,94 5 159	1,12 5 150		
		226	-	-	-	-	-	2,58 5 320	3,1 5 260	3,52 5 240	4,16 5 230	4,8 5 220		
			-	-	-	-	-	1,18 5 235	1,68 5 130	1,81 5 175	2,2 5 165	2,58 5 160		
300	300	300	-	-	-	-	-	1,89 5 270	2,24 5 210	2,62 5 194	3,15 5 183	3,53 5 179		
			-	-	-	-	-	1,05 5 214	1,48 5 177	1,7 5 165	2,1 5 155	2,45 5 147		
		500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Таблица П.3.3

Шлакопортландцемент М400, конечная прочность 70 % от R_{28}

Модуль поверхности, M_{-1}	Марка бетона	Расход цемента, кг/м ³	Начальная температура бетона, °С													
			25						50							
			Температура среды, °С													
			0		-10		-20	-30	-40	0		-10		-20	-30	-40
2	300	390	0,24 5 269	0,25 7 235	0,35 5 228	0,38 7 200	0,472 5 211	0,618 5 204	0,722 5 198	0,13 15 186	0,138 9 135	0,18 5 140	0,196 14. 97	0,23 5 123	0,284 5 116	0,315 5 106
4	300	390	0,463 5 230	0,49 10 171	0,67 5 192	— — —	0,86 5 184	1,0 5 174	1,19 5 164	0,238 5 133	0,25 16 77	0,31 5 100	— — —	0,37 5 95	0,377 5 89	0,46 5 83
6	300	390	0,68 5 210	0,73 11 156	0,995 8 165	1,3 5 177	1,3 5 177	1,55 5 168	1,8 5 166	0,43 5 130	— — —	0,442 5 94	— — —	0,52 5 88	0,63 5 81	0,68 5 79
10	300	390	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	0,55 5 115	— — —	0,64 5 87	— — —	0,84 5 82	0,96 5 77	1,12 5 73

Шлакопортландцемент М400, конечная прочность 100 % от R_{28}

Модуль поверхно- сти, м ⁻¹	Марка бетона	Расход цемента, кг/м ³	Начальная температура бетона, °C									
			25		50							
			Температура среды, °C									
			0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40
2	300	390	0,679 5 568	0,85 5 505	1 5 461	1,29 5 141	1,55 5 440	0,236 5 400	0,284 5 290	0,449 5 280	0,516 5 275	0,62 5 219
4	300	390	1,21 5 553	1,62 5 480	2,04 5 430	2,37 5 404	2 53 5 391	0,567 5 320	0,79 5 258	1,03 5 250	1,2 5 249	1,44 5 238
6	300	390	1,84 5 548	2,4 5 444	2,99 5 414	3,48 5 391	3,99 5 377	0,84 5 290	1,28 5 272	1,56 5 256	1,95 5 264	2,15 5 256
10	300	390	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	1,45 5 285	2,16 5 285	2,66 5 263	3,08 5 254	3,6 5 252

Таблица П.3.5

**Методы приведения изделий сложной формы
к расчетной форме**

Параметр	Значение M_{Π} и L для тел		
	I группы (пластина)	II группы (цилиндр)	III группы (шар)
Модуль поверхности	$M_{\Pi_1} = \frac{2F_{\text{ср}}}{V}$	$M_{\Pi_2} = \frac{3,54}{\sqrt{F_{\text{сеч}}}}$	$M_{\Pi_3} = \frac{4,84}{\sqrt[3]{V}}$
Критерий формы	$L_1 = \frac{F_{\text{бок}}}{F_{\text{ср}}}$	$L_1 = \frac{P}{\sqrt{4\Pi \cdot F_{\text{сеч}}}} =$ $= 2,82 \frac{P}{\sqrt{F_{\text{сеч}}}}$	$L_3 = \frac{F}{\sqrt[3]{36\Pi \cdot V^2}} =$ $= 2,06 \frac{F}{\sqrt[3]{V^2}}$

Примечание. V – объем изделия в плотном теле, м^3 ; $F_{\text{ср}}$ – площадь сечения бетона изделий I группы в средней плоскости (нормальной к наименьшему размеру), м ; $F_{\text{бок}}$ – площадь боковой поверхности изделий I группы (средняя из двух), м ; P – периметр поперечного сечения (нормального к наибольшему размеру), м ; $F_{\text{сеч}}$ – площадь исследуемого сечения (нормальная к наименьшему размеру), м^2 ; F – общая площадь поверхности, м^2 .

Таблица П.3.6

Тип опалубки и засыпки

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дос- ка	Дос- ка, толь, доска	Доска, пено- пласт, фанера	Доска, толь, минвата, фанера	Ме- талл, минва- та, фа- нера	Фа- нера	Доска, опил- ки, фанера	Дос- ка, шлак, доска	Толь, опил- ки, толь	Толь, шлак, толь	Толь, мин- вата, толь

Основные параметры в таблицах получены расчетным способом для тел классической формы (цилиндр, пластина, шар), однако геометрия конструкций учитывается при подсчете модуля поверхности. Если конструкции имеют слож-

ную форму, то с помощью табл. П.3.5 приведем их к классической форме.

Железобетонные изделия и конструкции по конфигурации можно отнести к пластинам (у которых два измерения из трех превышают третье в 5–6 раз и более), цилиндрам (у которых одно измерение «бесконечно большое», а два других конечны), шарам (у которых все три размера конечны и близки по величине). Конструкции сложной конфигурации необходимо рассматривать как набор простейших элементов.

Конечная температура выдерживания бетона равна алгебраической сумме температуры наружного воздуха и допустимого перепада температур между наружным воздухом и поверхностью бетона

$$t_{\text{б.к}} = t_{\text{н.в}} + [\Delta t].$$

Минимальная температура окончания выдерживания бетона принимается +5 °С в контрольной точке. Тепловая защита железобетонных изделий и конструкций должна обеспечивать равномерное остывание и набор прочности бетона в контрольной точке к моменту окончания его выдерживания в опалубке. Термосопротивление опалубки складывается из термосопротивления собственно опалубки, термосопротивления слоев тепловой изоляции и сопротивления теплоотдачи на границе опалубка – внешняя среда

$$R_T = R_{\text{оп}} + \sum_{i=1}^n R_{\text{из}}^i + R_{\text{в.с}},$$

где $R_{\text{из}}^i$ – термосопротивление i -го слоя изоляции;

$$R_{\text{из}}^i = \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

δ_i и λ_i – соответственно толщина и коэффициент теплопроводности i -го слоя изоляции.

Замкнутая воздушная прослойка может рассматриваться в качестве слоя изоляции. Величина термосопротивления воз-

душной прослойки в среднем для толщин от 0,01 м до 0,05 м составляет от 0,12 до 0,115 (м²·°C)/Вт.

Расчет термосного выдерживания выполняется в следующей последовательности:

1. Определяют, к какой группе тел относятся изделия и конструкции.

2. По табл. П.3.5 подсчитывается $M_{\text{п}}$ (модуль поверхности).

3. В зависимости от типа и марки цемента и требуемой конечной относительной прочности выбирается одна из таблиц П.3.1 – П.3.5.

4. По найденной таблице и заданным значениям перечисленных в ней параметров (модулю поверхности, расходу цемента, начальной температуре бетона, температуре наружного воздуха) определяются величины полного термосопротивления опалубки $R_{\text{т}}$ (м²·°C)/Вт, температура окончания выдерживания бетона и время выдерживания τ .

5. По формулам табл. П.3.5 подсчитывается коэффициент формы для группы III, принятой в пп. 1.

6. Определяется расчетное значение полного термосопротивления

$$R_i = R_{\text{т}} \cdot L.$$

7. По номограмме (нижняя кривая) в зависимости от расчетной скорости ветра определяется сопротивление теплоотдачи $R_{\text{н}}$ (м²·°C)/Вт в окружающую среду.

8. Определяется суммарное сопротивление собственно опалубки $R_{\text{оп}}$ и тепловой изоляции $R_{\text{из}}$:

$$R_{\text{оп}} + R_{\text{из}} = R' - R_{\text{н}}.$$

При применении металлической опалубки сопротивлением пренебрегают в силу его незначительности

$$R_{\text{из}} = R' - R_{\text{н}}.$$

9. Из табл. 45 выбираются конструкция опалубки и утеплитель открытой поверхности, наиболее подходящий для местных условий.

10. По табл. 85 принимается значение коэффициентов теплопроводности.

11. По рисунку прил. 3 по известным коэффициентам теплопроводности подбираются толщины собственно опалубки и изоляции с таким расчетом, чтобы соответствующие им значения термосопротивлений в сумме дали величину $R_{\text{оп}} + R_{\text{из}}$ (см. табл. П.3.1). Аналогично подбирается толщина утеплителя.

Таблица П.3.7

**Теплофизические характеристики строительных
и теплоизоляционных материалов**

Материал	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м ³	Коэффициент теп- лопроводности в сухом состоянии, Вт/м·°С	Расчетная величи- на коэффициента теплопроводности, Вт/м·°С	Удельная теплоем- кость в сухом со- стоянии, кДж/кг·°С
Железобетон ($W_6 = 3\%$)	2500	1,68	2,03	0,84
Шлакобетон па топливных (котельных) шлаках и бетон на аглопорите ($W_6 = 8\%$)	1800	0,7	0,93	0,84
Керамзитобетон ($W_6 = 10\%$)	1600	0,52	0,75	0,84
Вата минеральная ($W_6 = 5\%$)	100	0,04	0,049	0,76
Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом связующем ($W_6 = 5\%$)	100	0,046	0,052	0,76
Плиты мягкие и полужесткие минераловатные на битумном связующем ($W_6 = 5\%$)	100	0,046	0,052	0,92
Маты минераловатные прошивные	100	0,044	0,048	0,76
Хвойные породы ($W_6 = 20\%$)	50	0,093	0,17	2,52

Окончание табл. П.3.7

Материал	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м ³	Коэффициент теп- лопроводности в сухом состоянии, Вт/м·°С	Расчетная величи- на коэффициента теплопроводности, Вт/м·°С	Удельная теплоем- кость в сухом со- стоянии, кДж/кг·°С
Лиственные породы	700	0,104	0,13	2,52
Фанера клееная ($W_6 = 13\%$)	600	0,116	0,17	2,52
Плиты древесноволокнистые и древесностружечные ($W_6 = 12\%$)	1000	0,15	0,29	2,1
Опилки	250	0,069	0,24	–
Оргалит	300	0,064	0,16	–
Пенопласт плиточный ($W_6 = 10\%$)	74	0,041	0,043	1,34
Пенопласт плиточный ($W_6 = 10\%$)	100	0,041	0,042	1,34
Картон строительный много- слойный	650	0,12	0,17	1,34
Руберсид, пергамин кровель- ный, толь кровельный	600	0,17	0,17	1,47
Сталь	7600	52	–	–
Снег рыхлый, сухой	300	0,29	–	2,1

Примеры расчета остывания бетона конструкций различной массивности табличным методом

Задача 1. Определить возможность выдерживания бетона класса В22,5 на портландцементе М400 (расход цемента 500 кг/м^3) при температуре наружного воздуха -40°C в конструкции фундамента под турбокомпрессор высотой 3,5 м, сечением (2×2) м. Опалубка металлическая, температура уложенного бетона $t_{б,н}$ равна 25°C .

Решение. По табл. П.3.5 определяем, к какой группе расчетных форм относится данная конструкция. Учитывая, что размеры нашей конструкции конечны и близки по величине, модуль поверхности ее находим по III группе (шар).

$$M_n = \frac{4,84}{\sqrt[3]{V}} = \frac{4,84}{\sqrt[3]{2 \cdot 2 \cdot 3,5}} = \frac{4,84}{\sqrt[3]{14}} = \frac{4,84}{2,42} = 2 \text{ м}^{-1}.$$

Для получения 70 и 100 % от R_{28} (см. табл. П.3.1, П.3.2) соответственно имеем:

$$R_{T70} = 0,397 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт}; \quad R_{T100} = 0,73 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$\tau_{70} = 111 \text{ ч};$$

$$\tau_{70} = 111 \text{ ч}.$$

Принимая изоляцию из минеральной ваты (W_6) равной 5 % влажности (см. табл. П.3.7), найдем толщину слоя

$$\delta_{70} = R_{T70} \cdot \lambda_{ш} = 0,397 \cdot 0,049 = 0,019 \text{ м};$$

$$\delta_{100} = R_{T100} \cdot \lambda_{ш} = 0,73 \cdot 0,049 = 0,035 \text{ м}.$$

Произведя анализ полученных величин, узнаем, что термосный метод при заданных условиях может быть рекомендован для получения 70 и 100%-й прочности бетона.

Задача 2. Определить прочность и время ее набора при термосном выдерживании бетона класса В15 на шлакопортландцементе М400 при следующих условиях: расход цемента –

390 кг; конструкция – колонна (0,4×0,6×4 м); район строительства – г. Томск; период строительства – декабрь.

Решение. Длина колонны превышает поперечные размеры более чем в шесть раз, следовательно, колонну можно отнести к группе цилиндров

$$M_{\text{п}} = \frac{3,54}{\sqrt{F_{\text{сеч}}}} = \frac{3,54}{\sqrt{0,4 \cdot 0,6}} = \frac{3,54}{\sqrt{0,24}} = 7,2 \text{ м}^{-1}.$$

Расчетная температура воздуха (см. табл. 43) для г. Томска в декабре равна $-30,5^{\circ}\text{C}$.

Для шлакопортландцемента М400 (см. табл. П.3.3, П.3.4) при расходе цемента 390 кг и $t_{\text{б.н}} = +25^{\circ}\text{C}$ конструкции с $M_{\text{п}}$ более 6 м^{-1} изготавливать не рекомендуется.

Для обеспечения прочности 70 или 100 % от R_{28} при заданных условиях необходимо повысить начальную температуру бетона до $+50^{\circ}\text{C}$. Тогда основные параметры будут иметь следующие значения:

– для получения 70 % от R_{28}

$$R_{T70} = 1,12 \text{ (м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C) / Вт; } t_{\text{б.к}} = 5^{\circ}\text{C; } \tau_{10} = 73 \text{ ч;}$$

– для получения 100 % от R_{28}

$$R_{T100} = 3,6 \text{ (м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C) / Вт; } t_{\text{б.к}} = 5^{\circ}\text{C; } \tau_{100} = 252 \text{ ч;}$$

Произведем пересчет полученных значений термосопротивлений на условные толщины изоляции (например, пенопласт плиточный с 10%-й влажностью)

$$\delta_{70} = 1,12 \cdot 0,043 = 0,048 \text{ м; } \delta_{100} = 3,6 \cdot 0,043 = 0,1548 \text{ м.}$$

Для получения прочности 100 % от R_{28} необходимо экономически обосновать целесообразность устройства утеплителя из пенопласта толщиной 15 см.

Уточним расчет (условия соответствуют предыдущей задаче). Необходимо определить величину тепловой изоляции и время выдерживания бетона колонны сечением (0,4×0,6×4 м) до приобретения прочности 70 % от R_{28} при ведении работ

в г. Томске в декабре. Использован бетон класса В15 на шлако-портландцементе М400. Расход цемента 390 кг, температура бетона при укладке +50 °С.

Колонна, имеющая вышеуказанные размеры, рассчитывается как бесконечный цилиндр (см. табл. П.3.5).

2. Расчетная температура воздуха (см. табл. 43) составляет –30,5 °С, расчетная скорость ветра 5,6 м/с.

3. По табл. П.3.3 находим полное термическое сопротивление опалубки ($R = 0,96 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$) и время выдерживания бетона в конструкции 77 ч (до момента распалубки).

4. Коэффициент формы (см. табл. П.3.5) равен:

$$\begin{aligned} L_2 &= \frac{P}{\sqrt{4\Pi \cdot F_{\text{сеч}}}} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{F_{\text{сеч}}}} = \\ &= 0,282 \frac{(0,4 \cdot 2) + (0,6 \cdot 2)}{\sqrt{0,4 \cdot 0,6}} = 0,282 \frac{2}{\sqrt{0,24}} = 1,12. \end{aligned}$$

5. Расчетное значение полного термического сопротивления (с учетом коэффициента формы) будет:

$$R' = R_T \cdot L_2 = 0,96 \cdot 1,12 = 0,97 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}.$$

6. По номограмме (рис. П.3.1) для скорости ветра 5,6 м/с находим сопротивление теплоотдачи

$$1/\lambda = 0,048 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}.$$

7. Термическое сопротивление опалубки с изоляцией равно:

$$R_{\text{оп}} + R_{\text{из}} = R' - \frac{1}{\lambda} = 0,97 - 0,048 = 0,92 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}.$$

8. Выбираем по табл. П.3.6 конструкцию опалубки (тип 3) доска-пенопласт-фанера.

9. По табл. П.3.7 находим коэффициенты теплопроводности соответствующих материалов:

$$\lambda_d = 0,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}; \quad \lambda_{\text{п}} = 0,043 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С};$$

$$\lambda_{\text{ф}} = 0,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}.$$

10. По номограмме (рис. П.3.1) при найденных значениях коэффициентов теплопроводности подбираем соответствующие толщины слоев.

Принимая $\lambda_d = 0,04$ м; $\lambda_{\phi} = 0,005$ м; а для пенопласта $\lambda_{п} = 0,03$ м, будем иметь:

$$R_d + R_{п} + R_{\phi} = 0,21 + 0,71 + 0,02 = 0,94 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт},$$

что соответствует величине, полученной в п. 7 настоящего расчета.

Расчет времени остывания и набора прочности бетона

Пример расчета

Исходные данные. Железобетонный фундамент под опору имеет размеры (1,4×2,1×1,8) м, изготовлен из бетона класса В15 на портландцементе М400 с расходом 360 кг/м³. Расход стали при этом составил 180 кг/м³. Бетонируется в условиях строительной площадки при температуре наружного воздуха –15 °С и скорости ветра 5 м/с. Температура бетона в момент укладки составляет +40 °С, удельная теплоемкость бетона и арматуры соответственно равна 1,047 и 0,48 кДж/(кг·°С), объемная масса бетона составляет 2400 кг/м³, а арматурной стали – 7800 кг/м³.

Необходимо подобрать опалубку и утеплитель, которые бы обеспечили набор прочности 70 % от R_{28} в течение 7 сут остывания.

Расчет. 1. Определяем объем бетона в конструкции

$$V = 1,4 \cdot 2,1 \cdot 1,8 = 5,29 \text{ м}^3.$$

2. Рассчитываем поверхность охлаждения конструкции

$$F = 2(1,4 \cdot 2,1 + 1,4 \cdot 1,8 + 2,1 \cdot 1,8) = 18,48 \text{ м}^2.$$

3. Модуль поверхности конструкции будет равен:

$$M_n = \frac{18,48}{5,29} = 3,49 \text{ м}^{-1}.$$

4. Определяем температуру бетона с учетом нагрева арматуры

$$t'_{б.н} = \frac{1,047 \cdot 2400 \cdot 40 + 0,48 \cdot 180(-15)}{1,047 \cdot 2400 + 0,48 \cdot 180} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

5. Находим среднюю температуру твердения бетона

$$t_{б.ср} = \frac{38 - 0}{1,03 + 0,81 \cdot 3,49 + 0,006 \cdot 38} = 20,2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

6. Определяем коэффициент теплопередачи опалубки (ориентировочно)

$$K = \frac{1,047 \cdot 2400}{3,49 \cdot 7 \cdot 14} \left[1,5 - \sqrt{\frac{7[20,2 - (-15)]}{38 - (-15)}} - 3,75 \right] =$$

$$= 2,39 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}) = 0,66 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

7. По табл. 45 назначаем (ориентировочно) конструкцию опалубки, которая имеет коэффициент теплопередачи, близкий к $0,66 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ (доска 25 мм, пенопласт 30 мм, фанера 4 мм).

8. Определяем удельный тепловой поток через опалубку

$$q = 0,66[38 - (-15)] = 35 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

По графику (см. рис. 36) находим коэффициент конвективной теплоотдачи опалубки при скорости ветра 5 м/с

$$\alpha_k = 21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

9. Определяем коэффициент теплоотдачи излучения, зная, что лицевая сторона опалубки выполнена из фанеры, для которой (см. табл. 95) коэффициент излучения равен примерно $4,44 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Зададимся температурой на наружной поверхности опалубки $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{4,44 \left[\left(\frac{-12+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{-15+273}{100} \right)^4 \right]}{(-12) - (-15)} =$$

$$= \frac{4,44 \left[(2,61)^4 - (12,58)^4 \right]}{2} = 3,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Проверим правильность заданной температуры на наружной стороне опалубки

$$t_{\text{он}}^{\text{н}} = (-15) + \frac{35}{21 + 3,1} = -13,9 \text{ °C}.$$

В данном случае температура выбрана правильно.

10. Определяем среднюю температуру нагрева опалубки:

$$t_{\text{он}}^{\text{р}} = \frac{38 + (-13,9 \text{ °C})}{2} = 12,05 \text{ °C}.$$

11. Определяем количество тепла, идущего на нагрев опалубки:

$$Q_{\text{оп}} = (2,51 \cdot 0,025 \cdot 550 \cdot 12,6 + 1,34 \cdot 0,03 \cdot 100 \cdot 15,54 +$$

$$+ 0,04 \cdot 600 \cdot 2,51 \cdot 12,6) [13 - (-15)] =$$

$$= 561 \cdot 28 = 11013 \text{ кДж}.$$

12. Определяем температуру бетона с учетом потерь тепла, затраченных на нагрев арматуры и опалубки:

$$t_{\text{б.н}}'' = \frac{1,047 \cdot 2400 \cdot 40 \cdot 5,29 + 0,48 \cdot 180 [38 - (-15)] 5,29 - 16013}{1,047 \cdot 2400 \cdot 5,29 + 0,48 \cdot 180 \cdot 5,29 + 2,51 \cdot 12,6 \times$$

$$\times 0,025 \cdot 550 + 1,34 \cdot 0,03 \cdot 100 \cdot 15,54}$$

$$= 37 \text{ °C}.$$

13. Уточняем значение коэффициента теплопередачи опалубки

$$K' = \frac{1,047 \cdot 2400}{3,49 \cdot 7 \cdot 24} \left[1,5 - \sqrt{\frac{7[20,2 - (-15)]}{37 - (-15)}} - 3,75 \right] =$$

$$= 4,28 \cdot 0,51 = 2,18 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}) = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Полученный коэффициент теплопередачи опалубки несколько отличается от такового для принятой ранее конструкции опалубки. Уточним требуемую толщину слоя теплоизоляции (пенопласта).

14. Уточним коэффициент теплопроводности материалов опалубки, нагретых до -13°C :

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + 0,0025 t_{\text{оп}}^R).$$

Для доски он будет:

$$\lambda_{\text{д}} = 0,17 (1 + 0,025 \cdot 13) = 0,175 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

для пенопласта

$$\lambda_{\text{п}} = 0,043 (1 + 0,025 \cdot 13) = 0,044 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

для фанеры

$$\lambda_{\text{ф}} = 0,17 (1 + 0,025 \cdot 10) = 0,175 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

15. Определяем требуемую толщину изоляции из пенопласта

$$\delta_{\text{из}} = 0,044 \left[\frac{1}{0,6} - \left(\frac{1}{2,1 + 3,1} + \frac{0,025}{0,175} + \frac{0,004}{0,0175} \right) \right] =$$

$$= 0,065 \text{ м} = 65 \text{ мм}.$$

16. Уточняем удельный тепловой поток, теряемый бетоном через опалубку:

$$q' = 0,6 [37 - (-15)] = 31,2 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

17. Окончательно определяем температуру наружной поверхности опалубки

$$t_{\text{оп}}^{\text{ок}} = -15 + \frac{31,2}{21+31} = -14,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

18. Определяем температуру бетона к концу выдерживания

$$t_{\text{б.к}} = \left[37 - (-15) \right] 2,72 \frac{-2,18 \cdot 3,49 \cdot 7 \cdot 24}{1,047 \cdot 2400} - 15 = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

19. Производим окончательную проверку продолжительности остывания бетона

$$\tau = \frac{1,047 \cdot 2400 \left[37 - (+5) \right]}{2,18 \cdot 3,49 \left[20,2 - (-15) \right]} = 15 \text{ сут.}$$

Итак, время остывания фундамента составляет 15 сут, что вполне удовлетворяет условиям задачи.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

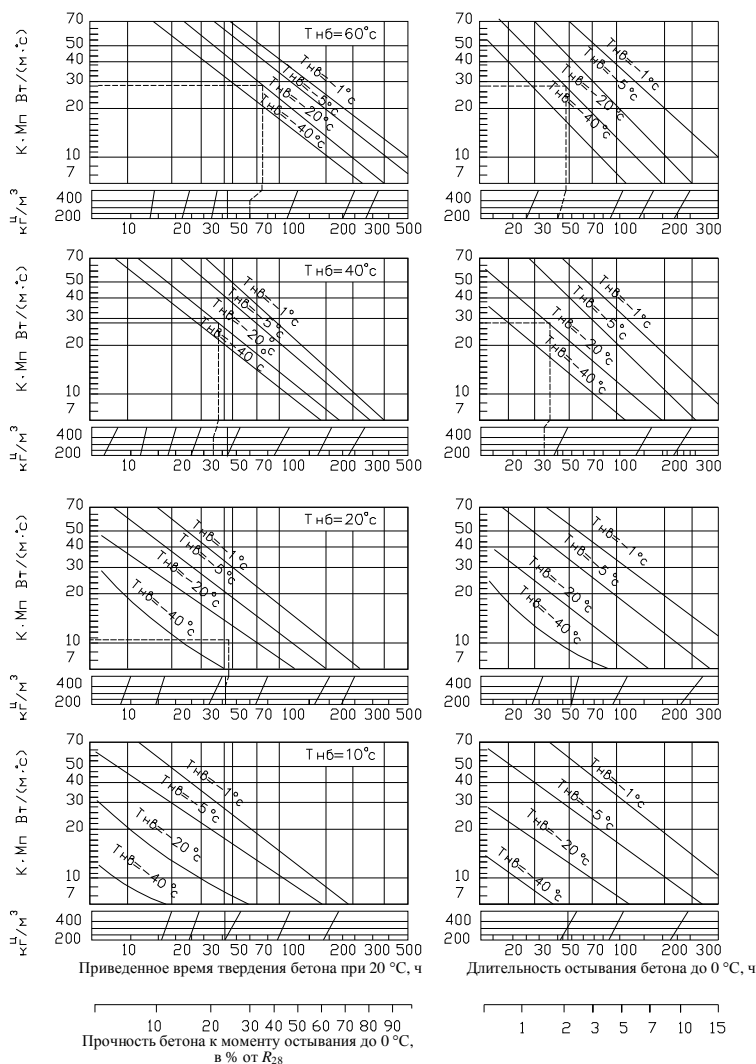


Рис. П.5.1. Номограмма для определения длительности остывания бетона до 0 °С и прочности его к этому моменту при термосном выдерживании немассивных монолитных конструкций из бетона класса В15 на шлакопортландцементе марки 300

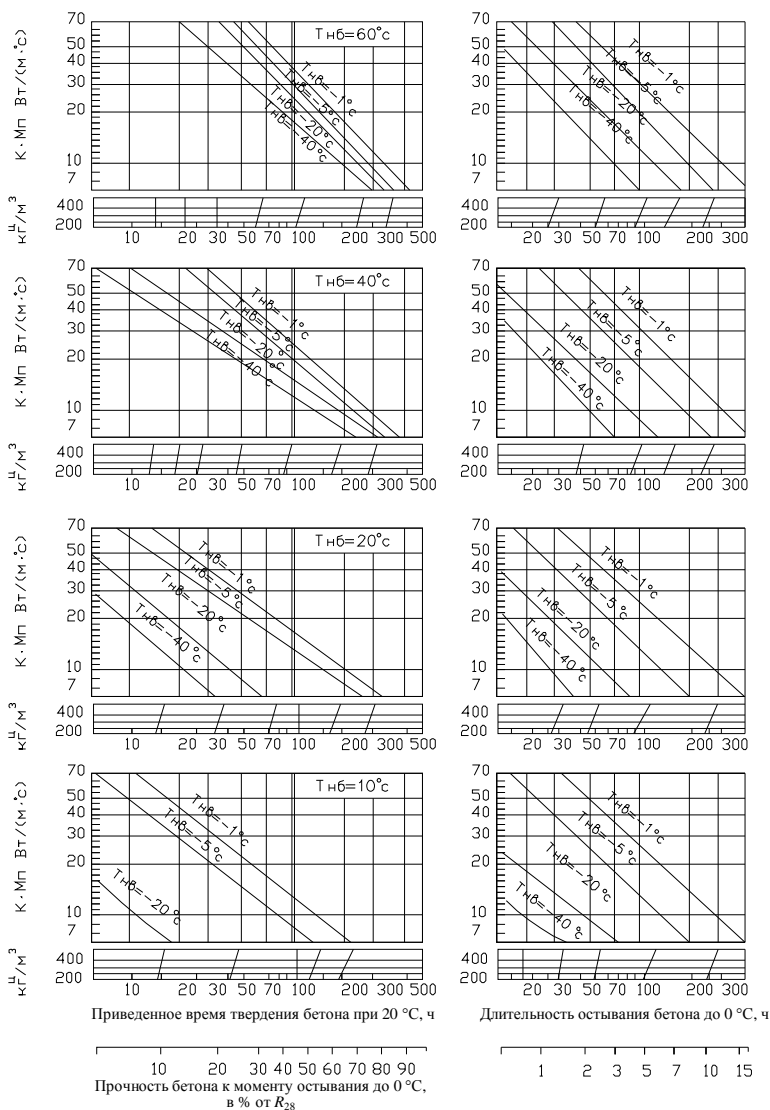


Рис. П.5.2. Номограмма для определения длительности остывания бетона до 0 °С и прочности его к этому моменту при термосном выдерживании немассивных монолитных конструкций из бетона классов В15, В22,5 на портландцементе марки 400

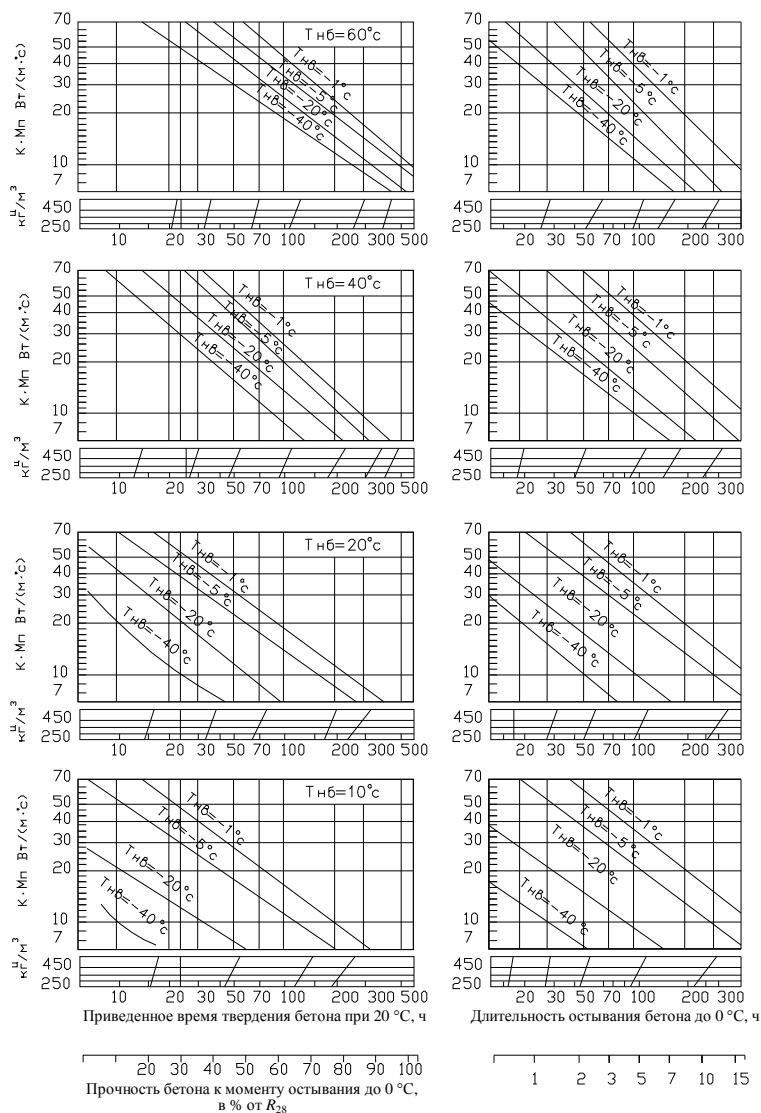


Рис. П.5.3. Номограмма для определения длительности остывания бетона до 0 °C и прочности его к этому моменту при термосном выдерживании немассивных монолитных конструкций из бетона класса B30 на портландцементе марки 500

Учебное издание

*Гныря Алексей Игнатьевич
Коробков Сергей Викторович*

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

Редактор Е.А. Кулешова
Технический редактор А.А. Маракулина

Подписано в печать 29.04.2011.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд. л. 21,7. Усл. печ. л. 23,95. Тираж 400 экз. Заказ № 130.

Издательство ТГАСУ, 634003, Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003 г. Томск, ул. Партизанская, 15.