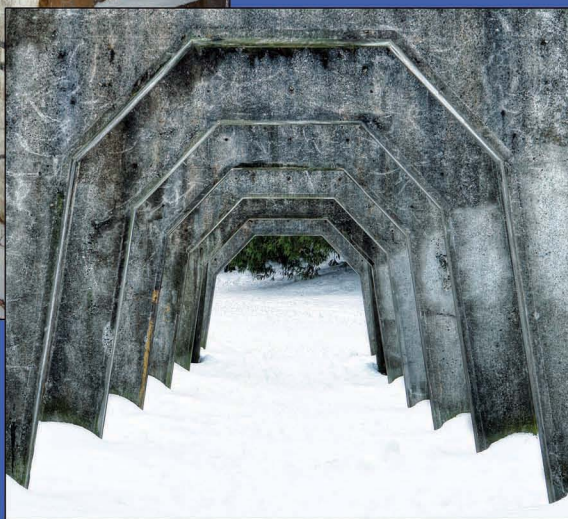


Э.И. Батяновский Н.М. Голубев
В.В. Бабицкий М.Ф. Марковский

ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ЗИМНЕГО МОНОЛИТНОГО И ПРИБЪЕКТНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ



**Э.И. Батяновский, Н.М. Голубев,
В.В. Бабицкий, М.Ф. Марковский**

ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО МОНОЛИТНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2009

УДК 693.547.34(075.8)

ББК 38.626я7

Б28

Рецензенты:

Заведующий кафедрой «Строительное производство» (БГУТ), кандидат технических наук, доцент *О.Е. Пантюхов*;

Заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения» Белорусско-российского университета, кандидат технических наук, доцент, *С.Д. Семенюк*.

Батяновский Э.И., Голубев Н.М., Бабицкий В.В., Марковский М.Ф.

Технология и методы зимнего монолитного и приобъектного бетонирования. Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. –232 с.

ISBN 978-5-93093-620-9

В учебном пособии изложены общие положения ведения бетонных работ в зимний период, методики расчета режимов твердения бетона при отрицательной температуре наружного воздуха и примеры выполнения таких расчетов, включая прогнозирование процесса твердения бетона с помощью ЭВМ. Дана информация о современных отечественных опалубочных системах и опалубочных работах с их использованием.

Пособие предназначено для студентов специальности «Производство строительных изделий и конструкций» и других строительных специальностей вузов, оно может быть полезным для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

ISBN 978-5-93093-620-9

© Издательство АСВ, 2009

© Э.И. Батяновский,

Н.М. Голубев, В.В. Бабицкий,

М.Ф. Марковский, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ	7
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И УКЛАДКИ В ОПАЛУБКУ БЕТОННОЙ СМЕСИ	12
3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ОБЪЕКТЕ	20
3.1. Общие сведения.....	20
3.2. Электрооборудование для разогрева бетонной смеси.....	20
3.3. Расчет электрических и конструктивных параметров установок для электроразогрева бетонных смесей.....	21
4. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК И УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА	25
4.1. Применение противоморозных добавок в бетон.....	25
4.2. Применение добавок ускорителей твердения в бетоне.....	33
4.3. Ограничения к применению добавок в бетон.....	36
5. МЕТОД ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ	38
5.1. Метод термоса.....	38
5.2. Электродный прогрев бетона.....	48
5.3. Прогрев бетона в греющих опалубках.....	59
5.4. Обогрев бетона греющими проводами.....	61
5.5. Индукционный нагрев бетона.....	65
5.6. Инфракрасный обогрев бетона.....	73
5.7. Бетонирование в тепляках и паропрогрев бетона.....	77
6. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА	89
7. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА	92
7.1. Математическая модель гидратации цемента.....	92
7.2. Расчет тепловыделения цемента.....	98
7.3. Последовательность расчета параметров твердеющего массива.....	105
7.4. Компьютерная модель кинетики твердения бетона.....	111
7.5. Примеры оценки температуры твердения бетона.....	118
8. ОПАЛУБКИ ТИПА «МОДОСТР» И ОПАЛУБОЧНЫЕ РАБОТЫ	124
8.1. Общие положения.....	124
8.2. Обозначения и определения.....	128

8.3. Технология опалубочных работ при возведении стен.....	130
8.4. Устройство проеомобразователей	150
8.5. Производство опалубочных работ при устройстве фундаментов	154
8.6. Опалубочные работы при возведении колонн.....	157
8.7. Опалубочные работы при устройстве перекрытий	162
8.8. Технология применения опалубки - стол.....	170
8.9. Опалубка с упруго-эластичной палубой для монолитных участков перекрытий	176
8.10. Опалубочные работы при устройстве балок и ригелей	178
8.11. Распалубка перекрытия	180
8.12. Опалубочные работы при возведении лифтовых шахт	184
8.13. Основные правила укладки и уплотнения бетонной смеси в опалубке	186
9. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ТРАНС- ПОРТИРОВАНИЯ СМЕСИ И ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА.....	188
9.1. Расчет температуры смеси на выходе из бетоносмесителя.....	188
9.2. Расчет параметров режима твердения бетона по методу тер- моса	189
9.3. Расчет параметров режима электродного прогрева бетона.....	197
9.4. Расчет параметров режима прогрева бетона в греющей опа- лубке	203
9.5. Расчет параметров режима обогрева бетона греющими про- водами.....	207
9.6. Расчет параметров режима индукционного нагрева бетона по принципу «индукционная катушка»	211
9.7. Расчет параметров режима индукционного нагрева бетона по принципу «трансформатор с сердечником».....	217
9.8. Расчет параметров режима термосного твердения бетона сухого формования с пароразогревом сухой бетонной смеси	223
Заключение.....	230

ВВЕДЕНИЕ

Производство бетонных работ в зимний период требует соблюдения ряда обязательных условий, связанных с необходимостью поддержания в бетонной смеси и твердеющем бетоне положительной температуры. Это наиболее сложный период для ведения бетонных работ, характеризующийся ростом энергетических затрат на их осуществление. Сведение к минимуму энергоемкости процесса бетонирования непосредственно связано с умением предварительно рассчитать и смоделировать наиболее рациональные условия ведения работ и параметры режимов транспортирования, укладки и твердения бетона. Для решения этих задач предназначено настоящее пособие.

В книге изложены основные положения производства бетонных работ в зимних условиях, базирующиеся на действующих строительных нормах и правилах. В логической последовательности, соответствующей технологическим пределам, приведены методики расчетов определения температуры бетонной смеси на выходе из смесителя, ее потерь при укладке бетона в опалубку, параметров режима твердения бетона для практикуемых в строительстве методов бетонирования, а также температурного режима при распалубке конструкций по достижении бетоном требуемой прочности.

При рассмотрении различных методов зимнего бетонирования приведены необходимые для понимания сути явлений теоретические посылки и представления, которые помогут студентам глубже изучить специальные курсы, относящиеся к строительству с использованием цементного бетона. Изложенные методики расчетов в полном объеме могут быть использованы как при ведении бетонных работ для строительства монолитным способом, так и при изготовлении сборных строительных конструкций на приобъектных полигонах. Приведенные в пособии примеры расчетов по всем изложенным в нем разделам технологии зимнего бетонирования позволяют глубже и детальнее освоить методики расчетов и служат путеводителем при выполнении соответствующих работ в процессе курсового и дипломного проектирования.

Раздел, посвященный прогнозированию и моделированию процессов твердения бетона с помощью ЭВМ, отражает перспективное направление в технологии монолитного строительства. Этот материал обладает повышенной значимостью при расчете режимов твердения бетона особо массивных сооружений различного назначения, а также при бетонировании конструкций сложных архитектурных форм, трудно поддающихся традиционным аналитическим методам расчета режима твердения бетона.

Опалубочные работы рассмотрены во взаимосвязи с информацией о современной отечественной опалубочной системе «МОДОСТР», представленной разными вариантами опалубки в зависимости от ее назначения и применения. Эти опалубки по своим техническим характеристикам не уступают соответствующим зарубежным аналогам при меньших эксплуатационных затратах и стоимости.

Пособие предназначено для студентов специальности «Производство строительных изделий и конструкций», а также для студентов других строительных специальностей вузов, магистров и аспирантов. Оно может быть полезным для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

1.1. Настоящие правила выполняются в период производства бетонных работ при ожидаемой среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5°C и минимальной суточной температуре ниже 0°C в соответствии с требованиями СНиП 3.03.01.

Настоящее пособие содержит информацию по различным приемам зимнего бетонирования, применяемым в строительстве.

Выбор способа выдерживания бетона при зимнем бетонировании монолитных конструкций следует производить в соответствии с рекомендуемыми данными табл. 1.1.

Таблица 1.1

Вид конструкций	Минимальная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ до	Способ бетонирования
1	2	3
Массивные бетонные и железобетонные фундаменты, блоки и плиты с модулем поверхности до 3	- 15 - 25	Термос Термос с применением ускорителей твердения бетона. Термос с применением противоморозных добавок*
Фундаменты под конструкции зданий и оборудования, массивные стены и т.п. с модулем поверхности 3...6	- 15 - 25	Термос, в том числе с применением противоморозных* добавок и ускорителей твердения. Обогрев в греющей опалубке. Предварительный разогрев бетонной смеси. Периферийный электропрогрев.
Колонны, балки, прогоны, элементы рамных конструкций, свайные ростверки, стены и перекрытия с модулем поверхности 6...10	- 15	Термос с применением противоморозных добавок*, обогрев в греющей опалубке, греющими проводами с применением ускорителей. Предварительный разогрев бетонной смеси, индукционный нагрев.
То же	- 25	Обогрев в греющей опалубке, греющими проводами и термоактивными гибкими покрытиями (ТАГП) с применением противоморозных добавок и ускорителей твердения.
Полы, перегородки, плиты перекрытий, тонкостенные конструкции с модулем поверхности 10...20	- 25	То же

* Противоморозные добавки, как правило, следует применять в комплексе с пластифицирующими.

1.3. Состояние основания, на которое укладывается бетонная смесь, а также температура основания и способ укладки должны исключать возможность замерзания смеси в зоне контакта с основанием. При выдерживании бетона в конструкции методом термоса, при предварительном разогреве бетонной смеси, а также при применении бетона с противоморозными добавками допускается укладывать смесь на неотогретое непучинистое основание (подготовку) или старый бетон, если по расчету в зоне контакта на протяжении расчетного периода выдерживания бетона не произойдет его замерзания. При невозможности соблюдения данного условия основание отогревают на глубину промерзания либо на 300 мм, если она более 300 мм. Пучинистые основания отогревают во всех случаях на глубину промерзания, либо на 500 мм, если она более 500 мм. При температуре воздуха ниже минус 10 °С бетонирование густоармированных конструкций с арматурой диаметром больше 24 мм, арматурой из жестких прокатных профилей или с крупными металлическими закладными частями следует выполнять с предварительным отогревом металла до положительной температуры или местным вибрированием смеси в приарматурной и опалубочной зонах, за исключением случаев укладки предварительно разогретых бетонных смесей (при температуре смеси выше 45 °С). Продолжительность вибрирования бетонной смеси должна быть увеличена не менее чем на 25 % по сравнению с летними условиями.

1.4. Перед укладкой бетонной (растворной) смеси поверхности полостей стыков сборных железобетонных элементов должны быть очищены от снега и наледи.

Неопалубленные поверхности конструкций следует укрывать паро- и теплоизоляционными материалами непосредственно по окончании бетонирования.

Выпуски арматуры забетонированных конструкций должны быть укрыты или утеплены на высоту (длину) не менее чем 0,5 м.

1.5. Контроль прочности бетона следует осуществлять, как правило, испытанием образцов, изготовленных у места укладки бетонной смеси и твердевших в условиях, одинаковых с условиями твердения конструкции. Образцы, хранившиеся на морозе, перед испытанием надлежит выдерживать 2...4 ч при температуре 15...20 °С.

Допускается контроль прочности производить неразрушающими методами, а также по температуре бетона в процессе его выдерживания.

1.6. Требования к производству работ при отрицательных температурах воздуха установлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Параметр	Величина параметра	Контроль (метод, объем, вид регистрации)
1	2	3
<p>1. Прочность бетона монолитных и сборно-монолитных конструкций к моменту заморозания (критическая прочность):</p> <p>1.1. Для бетонов без противоморозных добавок:</p> <ul style="list-style-type: none"> - конструкций, эксплуатирующихся внутри зданий, фундаментов под оборудование, не подвергающихся динамическим воздействиям, подземных конструкций; - конструкций, подвергающихся атмосферным воздействиям в процессе эксплуатации, для класса: В10 В15 ... В25 В30 и выше <p>- конструкций, подвергающихся по окончании выдерживания переменному замораживанию и оттаиванию в водонасыщенном состоянии или к бетону которых предъявляют требования по водонепроницаемости более W4;</p> <p>- в преднапряженных конструкциях.</p> <p>1.2. Для бетона с противоморозными добавками</p>	<p>Не менее 5 МПа</p> <p>Не менее, % проектной прочности: 50 40 30 70</p> <p>80</p> <p>К моменту охлаждения бетона до температуры, на которую рассчитано количество добавок, не менее 20 % проектной прочности</p>	<p>Измерительный по ГОСТ 18105, журнал работ</p>
<p>2. Загрузка конструкций расчетной нагрузкой допускается после достижения бетоном прочности</p>	<p>Не менее 100 % проектной</p>	
<p>3. Температура воды и бетонной смеси на выходе из смесителя, приготовленной на портландцементе, шлакопортландцементе, пуццолановом портландцементе марок ниже М600 на быстротвердеющем портландцементе и портландцементе марки М600 и выше на глиноземистом портландцементе</p>	<p>Воды не более 70 °С, смеси не более 35 °С</p> <p>Воды не более 60 °С, смеси не более 30 °С</p> <p>Воды не более 40 °С, смеси не более 25 °С</p>	<p>Измерительный, 2 раза в смену, журнал работ</p>

<p>4. Температура бетонной смеси, уложенной в опалубку, к началу выдерживания или термообработки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - при методе термоса - с противоморозными добавками - при тепловой обработке 	<p>Устанавливается расчетом, но не ниже 5°C Не менее чем на 5°C выше температуры замерзания раствора затворения Не ниже 0°C</p>	<p>Измерительный, в местах, определенных ППР, журнал работ</p>
<p>5. Температура в процессе выдерживания и тепловой обработки для бетона на:</p> <ul style="list-style-type: none"> портландцементе шлакопортландцементе 	<p>Определяется расчетом, но не выше, $^{\circ}\text{C}$:</p> <p style="text-align: center;">80 90</p>	<p>При термообработке – через каждые 2 ч в период подъема температуры или в первые сутки. В последующие трое суток и без термообработки – не реже 2 раз в смену. В остальное время выдерживания - один раз в сутки</p>
<p>6. Скорость подъема температуры при тепловой обработке бетона:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для конструкций с модулем поверхности: до 4 от 5 до 10 св. 10 и скользящих опалубок - для стыков 	<p>Не более, $^{\circ}\text{C}/\text{ч}$</p> <p style="text-align: center;">5 10 15 20</p>	<p>Измерительный, через каждые 2 ч, журнал работ</p>
<p>7. Скорость остывания бетона по окончании тепловой обработки для конструкций с модулем поверхности:</p> <ul style="list-style-type: none"> до 4 от 5 до 10 св. 10 	<p>Определяется расчетом Не более $5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ Не более $10^{\circ}\text{C}/\text{ч}$</p>	<p>Измерительный, журнал работ</p>
<p>8. Разность температур наружных слоев бетона и воздуха при распалубке с коэффициентом армирования до 1 %, до 3 % и более 3 % должны быть соответственно для конструкций с модулем поверхности:</p> <ul style="list-style-type: none"> от 2 до 5 св. 5 	<p>Не более 20, 30, 40°C Не более 30,40, 50°C</p>	<p>То же</p>

1.7. Температурный режим твердения бетона, а также температуру бетона конечную (к началу снятия опалубки) контролируют (определяют) по контрольной точке, расположенной на глубине 50 мм от середины поверхности бетона в расчетном сечении.

Под расчетным сечением понимается среднее сечение по отношению к наибольшему размеру бетонируемой конструкции.

В случаях, если разница температур между бетоном и окружающей средой к окончанию расчетного периода твердения превышает ограничения п. 8, табл 1.2 или требуемая прочность бетона достигнута за меньший отрезок времени, допускается переводить твердение бетона из режима естественного остывания вместе с опалубкой в режим охлаждения. С этой целью опалубку отсоединяют от поверхности бетона конструкции и, либо не снимая ее, либо заменив на паронепроницаемое укрытие с равнозначным коэффициентом теплопередачи, постепенно охлаждают бетон в соответствии с требованиями п. 7, табл 1.2.

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И УКЛАДКИ В ОПАЛУБКУ БЕТОННОЙ СМЕСИ

При работе в зимний период необходимо рассчитать требуемую температуру бетонной смеси на выходе из смесителя $t_{см}$, которая обеспечит нормальные условия ее транспортирования на объект и укладки в опалубку, по формуле

$$t_{см} = \frac{t_{\bar{n}} - t_{н.в} \sum_{i=1}^n \Delta t_i}{1 - \sum_{i=1}^n \Delta t_i}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

где $t_{\bar{n}}$ – температура бетонной смеси нормативная ($^\circ\text{C}$), т.е. требуемый нижний предел температуры смеси по завершении укладки ее в опалубку либо выгрузки из транспортного средства в приемный бункер для разогрева перед подачей в опалубку;

$t_{\bar{n}} \geq 0^\circ\text{C}$ (рекомендуется $2 \dots 5^\circ\text{C}$) – в случае последующей тепловой интенсификации твердения бетона или применения предварительного разогрева смеси перед укладкой в опалубку (кроме нагнетательных способов подачи);

$t_{\bar{n}} \geq 20^\circ\text{C}$ – при подаче бетонной смеси в опалубку нагнетательными способами;

$t_{н.в}$ – температура наружного воздуха ($^\circ\text{C}$);

$\sum_{i=1}^n \Delta t_i$, дол. ед., составляют потери температуры бетонной смесью

на протяжении технологического цикла, включающего все операции, от выгрузки ее из смесителя в транспортное средство до отделки и влаго-, теплоизоляции поверхности забетонированной конструкции или до перегрузки смеси из транспортного средства в бункер для разогрева перед укладкой в опалубку, если используется предварительный разогрев бетона.

Снижение температуры бетонной смеси на отдельной i -ой операции технологического цикла доставки ее на объект и укладки в опалубку определяют по формуле

$$\Delta t_i = \Delta t'_i \cdot \tau_i, \text{ д.ед.}, \quad (2.2)$$

где $\Delta t'_i$ – относительное снижение температуры смеси в процессе выполнения i -ой операции за 1 минуту при разнице температур смеси и наружного воздуха в 1°C ($^\circ\text{C}/^\circ\text{C}\cdot\text{мин}$), значения которого приведены в табл. 2.1;

τ_i – продолжительность i -ой операции в минутах.

Значения $\Delta t'_i$

№ п/п	Наименование и условия выполнения операций	$\Delta t'_i$ °C/°C·мин
1	2	3
1	Загрузка (погрузка или перегрузка) смеси 1 раз	0,032
2	Транспортирование смеси: самосвалами: до 2 м ³ до 3,2 м ³ автомобилом с теплоизоляцией кузова (до 3,2 м ³) автобетоновозом (до 1,6 м ³) автомобилом-бетоносмесителем: до 2,5 м ³ до 3,5 м ³ до 5 м ³ более 5 м ³ то же в зимнем исполнении	0,003 0,0025 0,00022 0,0009 0,0024 0,0019 0,0014 0,001 0,0004
3	Подача смеси к месту укладки в опалубку (в °C/°C·м): нагнетательные методы, по бетоноводу на 1 м длины без утепления - с утеплением в поворотных (неповоротных) бункерах (бадьях) краном на высоту Н, м, на каждый метр шахтным подъемником в утепленной шахте высотой Н, м, на каждый метр	0,003 0,001 0,0022 0,001
4.	Укладка и уплотнение бетона в конструкцию с минимальным размером или толщиной слоя бетона, в м: 0,06 0,10 0,15 0,2 0,3 0,4 0,5 ≥0,6	0,03 0,018 0,012 0,009 0,007 0,006 0,004 0,003
5.	Отделка (заглаживание) и гидротеплоизоляция поверхности, на 1 м ² (в °C/°C·м ²): установка электродов после укладки бетона, за 1 мин	0,001
6.	Подключение электродов, греющих проводов, намотка провода индуктора и его подключение после гидро, теплоизоляции бетона	0,0004

Методика расчета температуры бетонной смеси на выходе из смесителя

2.1. Разрабатывают пооперационный график ведения работ (операций) технологического цикла доставки бетонной смеси на объект и укладки в опалубку в форме табл. 2.2.

Таблица 2.2

№ п/п	Наименование операций	Условия выполнения работ, механизмы (вид, производительность, грузоподъемность и т.д.)	Расстояние транспортирования, $L_{тр}$, км, или перемещения H , м; объем работ, $M^3(M^2)$; скорость выполнения работ, расчетные формулы	Продолжительность операции, τ_i , мин
1	2	3	4	5

В графы табл. 2.2 заносят названия операций в их технологической последовательности и известные исходные данные, которые затем дополняют справочными характеристиками принимаемого для выполнения работ оборудования (механизмов) и расчетными данными о продолжительности отдельных операций технологического цикла транспортирования и укладки бетонной смеси. Пример расчета рассмотрен в п. 9.1.

2.2. Определяют расчетную продолжительность операций технологического цикла по следующей (примерной) схеме.

2.2.1. Время приготовления и загрузки бетонной смеси:

$$\tau_{пр} = V_{бет}/\Pi_{мин}, \text{ мин}, \quad (2.3)$$

где $V_{бет}$ – объем бетонной смеси в m^3 , перевозимой транспортным средством за один рейс (принимают по характеристике транспортного средства и конкретным условиям производства работ);

$\Pi_{мин}$ – производительность смесителя бетоносмесительного узла (БСУ), $m^3/\text{мин}$, которую определяют из зависимости

$$\Pi_{мин} = V_{см} \cdot \beta \cdot n/60, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (2.4)$$

где $V_{см}$ – объем смесителя на БСУ, m^3 ;

β – коэффициент выхода бетона, значение которого определяют при расчете состава бетона или принимают по табл. 2.3;

n – нормируемое (ОНТП-07-85) количество замесов бетоносмесителя в час с учетом конкретных условий приготовления бетона; принимают по табл. 2.3.

Учебное пособие

БАТЯНОВСКИЙ Эдуард Иванович
ГОЛУБЕВ Николай Михайлович
БАБИЦКИЙ Вячеслав Вацлавович
МАРКОВСКИЙ Михаил Филиппович

ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО МОНОЛИТНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ

Технический редактор: *М.И. Гриневич*
Компьютерная верстка: *Я.П. Яшина*
Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98
Подписано к печати 23.01.2009. Формат 60х90/16.
Бумага офс. Гарнитура таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 14,5. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, оф. 706 (отдел реализации – оф. 511)
тел., факс: (499) 183-56-83
e-mail: iasv@mgsy.ru, <http://www.iasv.ru>