

С.М. Анпилов

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА



С.М. Анпилов

**ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА**



Издательство Ассоциации строительных вузов

Москва

2010

Рецензенты:

заведующий лабораторией НИИЖБ, Академик РААСН,
доктор технических наук, профессор *Крылов Б.А.*;
заведующий кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции» СамГАСУ,
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор *Мурашкин Г.В.*;
Заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ПГУАС,
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор *Баранова Т.И.*

Анпилов С.М.

Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона. Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 576 с.

ISBN 978-5-93093-590-5

В учебном пособии изложены основные положения по технологии возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона. Систематизированы положения об основных аспектах опалубочных, арматурных, бетонных, геодезических работ, тепловой обработке бетона и контролю качества на строительной площадке. Освещены основные вопросы: квалификация и требования к опалубкам; элементы и конструкции опалубок; технология монтажа и демонтажа системной опалубки; ее методика расчета; виды и классы арматуры; соединение арматурных элементов; условия совместной работы бетона и арматуры; приготовление, транспортировка и подача бетонной смеси; механическая и тепловая обработка бетона; требования техники безопасности при производстве работ. Отражены современные методы возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона, технология выполнения строительно-монтажных работ.

Рекомендовано для студентов и аспирантов, строительных ВУЗов, инженерно-технических работников проектных, строительных и научно-исследовательских организаций.

ISBN 978-5-93093-590-5

© Издательство АСВ, 2010

© Анпилов С.М., 2010

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	10
ВВЕДЕНИЕ	12

РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ГЛАВА 1. Общие сведения о бетонных и железобетонных работах	13
1.1. Исторический обзор.....	13
1.2. Бетон и железобетон в современном строительстве.....	18
1.3. Общие сведения о материалах для железобетонных работ.....	28
1.4. Состав железобетонных работ и особенности их выполнения.....	33

РАЗДЕЛ II. ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ОПАЛУБОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

ГЛАВА 1. Общие сведения	36
1.1. Классификация опалубок	37
1.2. Требования к опалубкам.....	40
1.3. Основные элементы опалубки	41
1.3.1. Палуба.....	41
1.3.1.1. Доски для опалубки	42
1.3.1.2. Деревянные щиты опалубки	42
1.3.1.3. Крупноразмерные щиты опалубки из клееной древесины.....	44
1.3.1.4. Древесностружечные плиты	46
1.3.1.5. Древесноволокнистые плиты.....	47
1.3.1.6. Стальные опалубки	48
1.3.1.7. Алюминиевые опалубки.....	48
1.3.1.8. Металлическая сетка	49
1.3.1.9. Пластмассы для опалубки	49
1.3.1.10. Матрицы	50
1.3.2. Элементы поддерживающих конструкций.....	50
1.3.2.1. Крепление вертикальных поверхностей опалубки	50
1.3.2.2. Опоры опалубки.....	61
1.3.2.3. Балки	65
1.4. Расчет давления бетонной смеси на конструкции опалубок.....	68
1.4.1. Расчет по методике СНиП III-15-76 (Россия)	69
1.4.2. Расчет по методике DIN 18218 (Германия).....	70
1.4.3. Расчет по методике CIRIA-REPORT 108 (Великобритания)	74
1.4.4. Расчет по методике CIB-FIB-CEB (Франция).....	75
1.4.5. Расчет по методике ACI 347R (США)	76
1.4.6. Примеры расчета	77
1.5. Меры по снижению сцепления бетона с опалубкой.....	82

ГЛАВА 2. Конструкции опалубок	89
2.1. Разборно-переставные опалубки	89
2.1.1. Опалубки стен и колонн	89
2.1.1.1. Мелкощитовая опалубка	89
2.1.1.2. Крупнощитовая опалубка	96
2.1.2. Опалубка перекрытий	110
2.2. Горизонтально перемещаемые опалубки	120
2.2.1. Катучая опалубка	120
2.2.2. Объемно-переставная опалубка	122
2.2.3. Тоннельная опалубка	122
2.2.3.1. Тоннельная опалубка фирмы «НОЕ»	128
2.2.3.2. Тоннельная опалубка фирмы «Утинор»	129
2.3. Вертикально перемещаемые опалубки	133
2.3.1. Подъемно-переставная опалубка	133
2.3.2. Скользящая опалубка	135
2.3.3. Блок-формы	143
2.3.4. Блочная опалубка	145
2.3.5. Крупноблочная опалубка для шахт	147
2.4. Специальные опалубки	150
2.4.1. Пневматическая опалубка	150
2.4.2. Несъемная опалубка	151
2.5. Охрана труда	160
ГЛАВА 3. Технология опалубки PERI	162
3.1. Общие сведения	162
3.1.1. Нагрузки на опалубку	162
3.1.2. Подход к раскладке опалубки	164
3.1.3. Правила обращения с системными опалубками	164
3.2. PERI TRIO – рамная опалубка для стен и фундаментов	168
3.2.1. Общие положения	168
3.2.2. Правила раскладки	170
3.2.2.1. Прямые углы	170
3.2.2.2. Непрямые углы	173
3.2.2.3. Разветвление стен	175
3.2.2.4. Изменение толщины стены	176
3.2.2.5. Смещение стены	177
3.2.2.6. Колонны, бетонируемые вместе со стенами	177
3.2.2.7. Торцевые концовки	178
3.2.2.8. Опалубка прямых стен между углами и добор зазора	181
3.2.2.9. Опалубка лифтовых шахт	182
3.2.2.10. Особенности устройства опалубки фундаментов	184
3.2.3. Расстановка замков	185
3.2.4. Расстановка тяжей	186
3.2.5. Нарращивание элементов опалубки	186
3.2.6. Подкосы опалубки	187
3.2.7. Указания по технике безопасности	188

3.2.8. Отличие опалубочных систем TRIO и TRIO 330	189
3.3. PERI MULTIFLEX – балочная опалубка перекрытий	189
3.3.1. Элементы опалубки перекрытия	189
3.3.1.1. Рабочий слой палубы	189
3.3.1.2. Балки опалубки перекрытия и стен	190
3.3.1.3. Стойки	191
3.3.1.4. Вспомогательные и монтажные приспособления	191
3.3.2. Расчет опалубки MULTIFLEX	191
3.3.2.1. Методика расчета опалубки перекрытия	192
3.3.2.2. Расчет допустимых пролетов фанеры палубы опалубки	193
3.3.2.3. Определение пролета поперечных балок опалубки ...	200
3.3.2.4. Определение шага стоек	205
3.3.2.5. Проверка и выбор стоек	208
3.3.2.6. Сравнение вариантов	214
3.3.2.7. Торцевые опалубки	214
3.3.2.8. Опалубка ригелей	217
3.3.2.9. Опалубливание высоких помещений	222
3.3.3. Монтаж и демонтаж опалубки MULTIFLEX	223
3.3.4. Временная поддержка	229
3.3.5. Техника безопасности при опалубливании перекрытий	231
3.4. Столы для перекрытия	232
3.4.1. Общие сведения	232
3.4.2. Конструкции столов	233
3.4.2.1. Столы на поворотных головках	234
3.4.2.2. Столы UNIPORTAL	235
3.4.2.3. Стыковка столов и добор	236
3.4.3. Сборка, монтаж и перестановка столов	237
3.4.3.1. Сборка столов	237
3.4.3.2. Монтаж и перестановка столов	238
3.4.3.3. Техника безопасности при работе со столами UNIPORTAL	239
3.5. MULTIPROP – стойки, башни	239
3.5.1. Общие сведения и несущая способность	239
3.5.2. Монтаж башен	242
3.6. VARIO – опалубка колонн	246
3.6.1. Общие сведения	246
3.6.2. Несущая способность	248
3.7. Самоподъемные леса ACS	249
3.7.1. Общие сведения	249
3.7.2. Несущая способность	252
3.8. Трудозатраты по устройству опалубок	253

РАЗДЕЛ III. АРМАТУРНЫЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. Арматура и арматурные изделия	254
1.1. Общие требования	254
1.2. Назначение	256

1.3. Гибкая арматура.....	259
1.4. Характеристики механических свойств арматурной стали.....	260
1.5. Вид и классы.....	263
1.6. Ненапрягаемая арматура.....	269
1.6.1. Стыкование ненапрягаемой арматуры.....	270
1.6.2. Ненапрягаемые арматурные изделия.....	273
1.7. Напрягаемая арматура.....	275
1.7.1. Стыкование напрягаемой арматуры.....	276
1.7.2. Напрягаемые арматурные изделия.....	278
1.8. Неметаллическая и фибровая арматура.....	279
1.8.1. Неметаллическая арматура.....	279
1.8.2. Фибра стальная и неметаллическая.....	272
1.9. Сцепление арматуры с бетоном.....	287
1.9.1. Условия совместной работы бетона и арматуры.....	288
1.9.2. Анкеровка ненапрягаемой арматуры.....	289
1.9.3. Анкеровка напрягаемой арматуры.....	289
ГЛАВА 2. Производство арматурных работ.....	293
2.1. Условия поставки арматурной стали.....	293
2.2. Транспортирование и складирование арматуры.....	294
2.3. Такелажные работы.....	295
2.4. Соединение арматурных элементов.....	296
2.4.1. Правка, гибка и резка арматурной стали.....	296
2.4.2. Электросварка и вязка арматуры.....	299
2.5. Установка арматуры и виды армирования.....	305
2.6. Предварительное натяжение арматуры.....	309
2.7. Приемка смонтированной арматуры.....	312
2.8. Охрана труда.....	317
 РАЗДЕЛ IV. БЕТОННЫЕ РАБОТЫ	
ГЛАВА 1. Приготовление бетонной смеси.....	318
1.1. Свойства бетонной смеси.....	318
1.2. Приготовление бетонной смеси.....	320
1.3. Охрана труда.....	330
ГЛАВА 2. Транспортирование и подача бетонной смеси.....	332
2.1. Общие сведения.....	332
2.2. Перевозка бетонной смеси автотранспортом.....	333
2.3. Подача бетонной смеси.....	339
2.3.1. Подача бетонной смеси кранами.....	339
2.3.2. Ленточные транспортеры бетонной смеси.....	351
2.3.3. Бетононасосы, автобетононасосы и пневмонагнетатели.....	352
2.4. Методы уплотнения бетонной смеси.....	363
2.5. Применение бетонной смеси с добавками.....	371
2.6. Охрана труда.....	372

ГЛАВА 3. Механическая обработка бетона	373
3.1. Затирка и заглаживание бетонной поверхности.....	373
3.2. Обработка затвердевших бетонных поверхностей.....	376
ГЛАВА 4. Возведение основных монолитных конструкций зданий.....	392
4.1. Бетонирование фундаментов и массивов.....	392
4.2. Бетонирование стен и перегородок	393
4.3. Бетонирование колонн, перекрытий.....	396
4.4. Бетонирование арок, сводов, куполов и оболочек	399
4.5. Бетонирование плоских конструкций.....	401
4.6. Распалубливание конструкций.....	413
4.7. Организация железобетонных работ на объекте	414
4.7.1. Поточный метод производства работ.....	414
4.7.2. Определение потока бетонной смеси и ее составляющих	417
4.8. Охрана труда.....	420

РАЗДЕЛ V. ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА БЕТОНА

ГЛАВА 1. Уход за уложенным бетоном.....	421
1.1. Влияние влажности.....	421
1.2. Влияние температуры	425
1.3. Уход за бетоном при положительных температурах	426
1.4. Прогрев бетона в монолитных конструкциях.....	429
1.4.1. Общие положения.....	430
1.4.1.1. Тепловая обработка для интенсификации твердения бетона.....	430
1.4.1.2. Критерии эффективности прогрева бетона	430
1.4.1.3. Материалы для бетонов подвергаемых термообработке.....	431
1.4.1.4. Ускорение твердения бетона методами электротермообработки.....	432
1.4.1.5. Режимы прогрева бетона.....	436
1.4.1.6. Расчет основных параметров прогрева бетона	438
1.4.1.7. Влияние режимов прогрева на формирование структуры бетона	440
1.4.1.8. Методы тепловой обработки бетона	444
1.4.2. Электропрогрев бетона.....	448
1.4.2.1. Общие положения	448
1.4.2.2. Электроды	451
1.4.2.3. Параметры электропрогрева бетона.....	455
1.4.2.4. Последовательность расчета параметров электропрогрева.....	458
1.4.2.5. Электропрогрев бетонов с противоморозными добавками	458
1.4.2.6. Производство работ при электропрогреве бетона ...	461
1.4.2.7. Техника безопасности при электропрогреве бетона.....	464

1.4.3. Предварительный электроразогрев бетонных смесей	465
1.4.3.1. Сущность метода и область применения	465
1.4.3.2. Технология производства работ	466
1.4.3.3. Особенности применения в построечных условиях.....	470
1.4.3.4. Установки непрерывного действия	472
1.4.3.5. Особенности бетонирования конструкций разогретыми смесями	474
1.4.3.6. Бетонирование термовиброобработанными смесями.....	477
1.4.3.7. Техника безопасности при предварительном электроразогреве бетонной смеси	479
1.4.4. Форсированный электроразогрев бетона в конструкциях	480
1.4.4.1. Сущность метода.....	480
1.4.4.2. Укладка бетонной смеси и форсированный ее электроразогрев	482
1.4.4.3. Выдерживание бетона в конструкциях и контроль за температурным режимом твердения	483
1.4.4.4. Техника безопасности при форсированном электроразогреве бетона в конструкциях	484
1.4.5. Прогрев бетона греющими изолированными проводами	485
1.4.5.1. Сущность метода и область применения	485
1.4.5.2. Технология производства работ	487
1.4.5.3. Прогрев бетона с использованием полимерного греющего провода.....	491
1.4.5.4. Контроль качества при прогреве бетона греющими изолированными проводами	492
1.4.5.5. Техника безопасности при прогреве бетона греющими проводами.....	493
1.4.6. Обогрев бетона в греющей опалубке	494
1.4.6.1. Сущность метода и область применения	494
1.4.6.2. Конструкции греющих опалубок	495
1.4.6.3. Нагреватели для греющей опалубки	498
1.4.6.4. Конструкции греющей опалубки с электронагревателями.....	504
1.4.6.5. Греющие опалубки с нагревателями из углеродистых и графитовых тканей	505
1.4.6.6. Опалубка с токопроводящим греющим покрытием	509
1.4.6.7. Конструкции инвентарных греющих гибких покрытий	512
1.4.6.8. Гибкие устройства из греющего провода с полимерной жилой	514
1.4.6.9. Монтаж и электроподключение нагревательных элементов в греющих опалубках и в гибких греющих устройствах.....	516
1.4.6.10. Технология обогрева бетона в греющей опалубке и при применении греющих матов.....	518
1.4.6.11. Обогрев бетона при возведении специальных монолитных конструкций в скользящей опалубке.....	520
1.4.6.12. Производство работ по прогреву бетона в греющей опалубке.....	523

1.4.7. Воздушный конвективный прогрев монолитных тонкостенных конструкций.....	524
1.4.7.1. Сущность метода и разновидности конвективного прогрева	524
1.4.7.2. Генераторы для конвективного прогрева конструкций.....	527
1.4.7.3. Производство работ и определение параметров прогрева.....	528
1.4.7.4. Техника безопасности при конвективном прогреве	529
1.4.8. Тепловая обработка железобетонных конструкций в электромагнитном поле (индукционный прогрев).....	530
1.4.8.1. Сущность метода и область применения	530
1.4.8.2. Технология производства работ при прогреве бетона в электромагнитном поле.....	530
1.4.8.3. Порядок выполнения работ по индукционному нагреву монолитных конструкций.....	531
1.4.8.4. Контроль температурного режима и набора прочности бетона..	534
1.4.8.5. Техника безопасности.....	534
1.4.9. Предварительный электроразогрев бетонных смесей в автобетоносмесителях	534
ГЛАВА 2. Контроль качества на строительной площадке.....	536
ГЛАВА 3. Организация геодезических работ в строительстве	546
3.1. Организация геодезических работ.....	546
3.2. Приборы и инструменты для геодезических работ.....	551
ЛИТЕРАТУРА.....	567

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сегодня перед строительным комплексом России стоит серьезная задача – резко увеличить объемы ввода жилья для реализации приоритетного Национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России». Подсчеты показывают, что необходимо ежегодно увеличивать объемы строительства жилья, более чем на 5 млн. кв. метров.

Столь стремительно наращивать темпы возведения жилья на существующей домостроительной базе практически невозможно. Нужно, прежде всего, эту базу восстановить, что требует не только значительного времени, но и больших средств. Тем более, восстанавливать эту базу нужно на новом техническом и технологическом уровне, поскольку прежние технологии строительства уже устарели физически и морально.

Как один из вариантов реального выхода из сложившегося положения - это широкое использование в жилищном строительстве монолитного домостроения. Монолит позволяет резко увеличить объемы строительства жилья без затрат на восстановление заводской базы индустриального домостроения.

Многие годы монолитный способ возведения зданий в нашей стране не мог соперничать со сборным строительством по двум важным показателям – трудозатратам и срокам возведения. Существенную проблему представляло и ведение бетонных работ на стройплощадке в зимний период.

В строительном комплексе страны в последние годы происходят заметные изменения. Рынок пополнился новыми технологиями, большим количеством материалов, машин и механизмов.

С внедрением новых строительных технологий, средств механизации и переходом строительного комплекса России к рыночным отношениям, интерес к монолитному строительству начал значительно расти. Широкие возможности технологии монолитного домостроения позволяют улучшать объемно-планировочные решения квартир и предлагают потребителям более разнообразное и комфортное жилье.

Вместе с тем, монолитное домостроение на сегодняшний день не является еще приоритетно экономичным, так как:

- не используются или слабо используются различные добавки в бетон для сокращения сроков схватывания;

- нет дешевых способов выполнения работ в зимний период;

- низкий уровень контроля качества материалов на строительной площадке;

- достаточная дороговизна применяемых опалубок и оснасток;

- недостаточный уровень квалификации инженерно-технических работников и рабочих. Работники часто не имеют достаточных теоретических знаний, практического опыта и навыков по наладке процесса производства из монолитного железобетона.

Монолитное домостроение технологически сложнее, чем возведение зданий с несущими кирпичными стенами и сборными железобетонными перекрытиями и требует от исполнителей специальных знаний и навыков, внимательности, ответственности и технологической дисциплинированности. Высокий уровень конкуренции стимулирует постоянное освоение и внедрение современных технологий, по-

вышение качества предоставляемых услуг и выпускаемой продукции, и самое главное – повышению квалификации персонала.

С целью обобщения опыта, для прогрессивного развития строительной отрасли России у автора, как у руководителя проектно-строительного Предприятия успешно применяющего в практике строительства технологию возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона с использованием безригельного каркаса, возникла идея написания данной книги.

Настоящая книга включает в себя обзорный материал, с анализом исторического и современного опыта монолитного домостроения. Является дополнением к ранее выпущенному в 2005 году Издательством Ассоциация строительных вузов учебному изданию «Опалубочные системы для монолитного строительства». Особое внимание в этом учебном, нормативно-справочном издании уделено главным проблемам, решающим главную роль в технологии возведения монолитных железобетонных конструкций:

- индустриальным опалубочным системам;
- арматурным, бетонным работам и тепловой обработке бетона;
- контролю качества выпускаемой продукции и организации геодезических работ;
- технике безопасности при подготовке и производстве работ.

Книга подробно иллюстрирована и написана с учетом современных требований, предъявляемых к технологии строительного производства. Она рассчитана на инженерно-технических работников, специалистов, студентов строительных специальностей, и может быть интересна широкому кругу читателей – от строителя-практика, повышающего свою квалификацию, профессиональный уровень и использующего полученные знания в своей повседневной деятельности, до научного сотрудника.

Автор выражает благодарность Академику РААСН, заведующему лабораторией НИИЖБ, доктору технических наук, профессору Б.А. Крылову, члену корреспонденту РААСН, заведующему кафедрой «Железобетонных и каменных конструкций» СГАСУ, доктору технических наук, профессору Г.В. Мурашкину, члену корреспонденту РААСН, заведующему кафедрой «Строительные конструкции» ПГУАС, доктору технических наук, профессору Т.И. Барановой за ценные замечания при рецензировании рукописи.

Автор будет признателен всем читателям, кто пришлет в редакцию свои замечания и пожелания по улучшению структуры и содержанию настоящего издания.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство является одной из основных сфер производственной деятельности человека.

В результате строительного производства создается законченная строительная продукция – здание или сооружение. Многообразие конструкций зданий и сооружений порождает необходимость разработки и применения широкого спектра строительных технологий.

Для решения задач по обеспечению жилья, стоящих перед строительной отраслью, России необходим решительный вывод строительного производства на новый этап технического прогресса, одним из важных направлений которого является применение эффективных бетонных и железобетонных конструкций. Из железобетона возводят каркасы жилых, гражданских и промышленных зданий, оболочки, гидротехнические сооружения и многое другое.

За последние годы наряду с развитием сборного железобетона все более широкое применение получают методы строительства из монолитного железобетона, имеющие большие потенциальные возможности снижения ресурсоемкости строительства.

Сторонники активного использования монолитного бетона обоснованно говорят об увлечении сборным железобетоном, замедлившем развитие методов строительства из монолитного бетона.

При всем том наряду с увеличением объемов применения сборного железобетона и его качественной трансформацией доля возводимых монолитных конструкций неизменно возрастает.

Очевидно, что по мере внедрения новых строительных технологий, средств механизации и совершенствования конструктивных решений зданий и сооружений область применения монолитного бетона в строительстве будет расширена.

Строительство из монолитного бетона было бы неправильно противопоставлять полносборному, основываясь на тех или иных отдельных достоинствах или недостатках.

Видимо, на смену подчас поверхностным оценкам при необходимости выбора между монолитным и сборным бетоном должен прийти взвешенный экономический и технический анализ рассматриваемых вариантов.

За последние годы строительный комплекс России перешел на рыночные отношения, что дает все основания полагать, что уже в ближайшие годы произойдет заметный количественный и качественный сдвиг в сторону повышения технического уровня строительства из монолитного бетона.

Настоящая книга – это результат обобщения имеющегося опыта и варианты рассмотрения, с современных позиций направления перспективного развития, технологии строительства из монолитного бетона для достижения основной цели: сделать монолитное строительство одним из привлекательных для инвесторов и самое главное – квалифицированно обучить кадры строительного комплекса.

В книге рассматривается широкий диапазон условий, обеспечивающих строительство из монолитного бетона.

РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ГЛАВА I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТАХ

1.1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Бетон – один из древнейших строительных материалов. История существования бетона насчитывает тысячелетия. Еще во II в. до н. э. римляне применяли бетонные массивы при строительстве портовых сооружений близ Неаполя. Сеть бетонных дорог в Римской империи во II в. н. э. составляла более 120 тыс. км.

Главными вяжущими материалами в те времена были гипс, известь, глина. С падением Римской империи применение бетона прекратилось и возобновилось лишь с появлением гидравлических вяжущих в начале IX в.

Лишь в XIX в. был применен цементный бетон. Он был стоек к воде, прочен на сжатие, но имел существенный недостаток – плохо сопротивлялся растяжению. В 1865 году в Англии был выдан первый патент на возведение бетонных сооружений в деревянной опалубке. В 1885 году появились первые железобетонные конструкции.

Есть мнение, что открытие железобетона принадлежит парижскому садовнику Иосифу Монье, который решил вместо деревянных кадок для цветов сделать бетонные. Для прочности он уложил в бетон проволоку. Получились очень прочные и долговечные изделия. Но исследования покрытий Царскосельского дворца показали, что русские мастера еще в 1802 году применяли армированный бетон, однако не считали, что получили новый строительный материал, и не патентовали его. Так появился железобетон, в котором сталь и цементобетон дополняли и защищали друг друга. Металл предотвращает образование трещин в бетоне и воспринимает растягивающие усилия, а цементный камень защищает металл от коррозии и воспринимает сжимающие усилия.

В Санкт-Петербурге в 1861 году было построено первое здание Госбанка из монолитного железобетона. К началу XX века был уже накоплен значительный опыт строительства из монолитного железобетона во всем мире.

В 1892 году французский инженер Ф. Геннебик предложил монолитные железобетонные ребристые перекрытия (*рис. 1.1.1*) и ряд других рациональных строительных конструкций.

Для гражданских и общественных зданий железобетон в основном использовался в колоннах и ребристых перекрытиях. Преимущество ребристых перекрытий заключалось в относительной простоте и ясности расчетной схемы. Однако ребристые перекрытия для жилых зданий создавали целый ряд неудобств, связанных с прокладкой инженерных сетей, неровными потолками, санитарными требованиями и т.д. Устраняя эти неудобства, конструкторы стали разрабатывать монолитное безбалочное перекрытие.

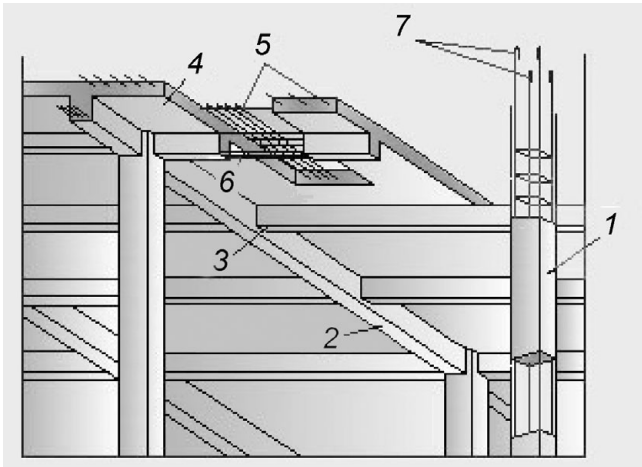


Рис. 1.1.1. Монолитное ребристое перекрытие:

1 – колонна; 2 – главная балка; 3 – второстепенная балка; 4 – плита; 5 – рабочая арматура плиты; 6, 7 – то же соответственно второстепенной и главной балок и колонн

В 1885 году в Германии инженер Вайс и профессор Баушингер провели первые научные опыты по определению прочности и огнестойкости железобетонных конструкций, сохранности металла в бетоне, сил сцепления арматуры с бетоном. Тогда же впервые инженер М. Кёнен высказал предположение, подтвержденное опытами, что арматура должна располагаться в тех частях конструкций, где можно ожидать растягивающие усилия.

В 1886 году М. Кёнен предложил первый метод расчета железобетонных плит, который способствовал развитию интереса к новому материалу и более широкому распространению железобетона в Германии и Австро-Венгрии.

Русские ученые также внесли большой вклад в развитие науки о бетоне и в его практическое использование. Результаты первых исследований профессора И.Г. Малюги по технологии бетона «Составы и способы приготовления цементного раствора (бетона) для получения наибольшей крепости» были опубликованы в 1845 году. Профессор Петербургского института инженеров путей сообщения Н.А. Белелюбский в 1891 году провел широкие эксперименты с железобетонными конструкциями и сделал ряд важных практических выводов. Перед началом Первой мировой войны русские инженеры широко и успешно вели строительство бетонных и железобетонных сооружений при возведении объектов транспортного строительства.

В 1904 году в г. Николаеве по проекту русских инженеров Н. Пятницкого и А. Барышникова был построен первый в мире морской маяк из монолитного железобетона высотой 36 м со стенами толщиной 10 см вверху и до 20 см внизу (рис. 1.1.2).

Важный вклад в технологию бетона внес труд русского ученого Н.А. Житкевича «Бетон и бетонные работы», который был опубликован в 1912 году. Первые исследования по применению метода научного подбора состава бетона были проведены в 1929 году под руководством Н.М. Беляева.

В 1920–1940-е годы значительно возросло применение железобетона в гидротехническом, промышленном и гражданском строительстве. Большой объем бетонных и железобетонных работ был выполнен при строительстве Волховской ГЭС (1921–1926), плотина сооружалась на железобетонных кессонах, транспортируе-

мых к месту установки на плаву. Главное здание станции железобетонное каркасное, с железобетонными аркадами, поддерживающими путь 130-тонного мостового крана. Также широко железобетон был применен в главной подстанции и во всех вторичных подстанциях. Волховстрой явился первой большой практической школой специалистов по железобетону. Вслед за Волховской ГЭС были построены ДнепроГЭС (1927–1932), Нижне-Свирская ГЭС (1928–1934), в которых бетон и железобетон применялись более широко.

Начиная с 1928 года железобетон стал широко использоваться в строительстве тонкостенных пространственных конструкций: разнообразных оболочках, шатрах, сводах и куполах. Русский ученый В.З. Власов первым разработал общий практический метод расчета оболочек, значительно опередив зарубежную науку в этой области, а в 1937 году вышла в свет первая в мире «Инструкция по расчету и проектированию тонкостенных покрытий и перекрытий», составленная на основе теоретических и экспериментальных работ, проведенных под руководством А.А. Гвоздева.

Первый тонкостенный купол диаметром 28 м был построен в 1929 году в Москве для планетария, а самый большой в то время гладкий купол диаметром 55,5 м был сооружен в 1934 году, над зрительным залом театра в Новосибирске. Конструкцию купола разработал инженер Б.Ф. Матери по идее и под руководством П.Л. Пастернака.

Применение в строительстве рамных и тонкостенных пространственных систем с использованием их жесткости и монолитности следует считать вторым этапом в развитии железобетона.

Широкую индустриализацию строительства из железобетона, развитие предварительно напряженных железобетонных конструкций, внедрение высокопрочных материалов и разработку нового метода расчета железобетонных конструкций следует считать началом третьего этапа в развитии железобетона. Выдающимся примером третьего этапа может служить построенная в 1965 году башня Большого московского телецентра (рис. 1.1.3) общей высотой 522 м. Нижняя часть – до высоты 385 м – выполнена из монолитного предварительно напряженного железобетона. Диаметр башни внизу 18,0 м, а вверху 8,5 м при толщине стенки соответственно 46 и 30 см. На отметке 65 м ствол башни переходит в коническое основание диаметром внизу 61 м. На высоте 360 м расположены ресторан на 420 человек и смотровые площадки на 600–700 человек. Нижняя часть кони-

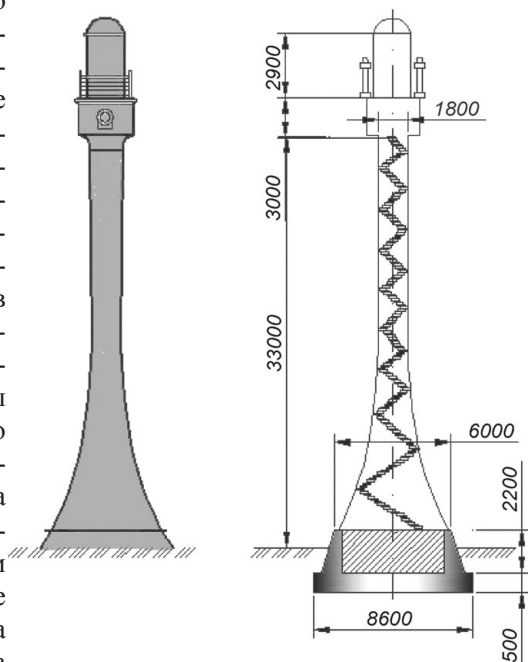


Рис. 1.1.2. Железобетонный маяк в г. Николаеве (1904)

ческого основания выполнена в виде опорных конструкций (ног) высотой 17,3 м. На отметке 42 м оболочка конического основания имеет диафрагмовое кольцо, воспринимающее усилие от анкеровки канатов предварительно напряженной арматуры.

Отечественные инженеры и ученые осуществляли плодотворные научные и конструкторские исследования по всем направлениям теории и практики железобетона. Разработке общих вопросов механического сопротивления бетона и железобетона посвящены труды О.Я. Берга, А.А. Гвоздева, А.Ф. Лолейта, А.К. Малмейтера, Я.В. Столярова, С.Е. Фрайфельда, а учету динамических и других нетрадиционных воздействий – труды Н.Н. Попова, Б.С. Расторгуева, А.В. Забегаева, А.И. Цейтлина, П.И. Васильева, Р.О. Бакирова, А.Ф. Милованова, А.Л. Кириллова, Т.Ж. Жунусова, А.Я. Барашникова, А.М. Курганова, А.П. Кудзиса. Нелинейная теория железобетона разработана А.А. Гвоздевым, В.И. Мурашевым, П.И. Васильевым, В.М. Бондаренко, В.Г. Назаренко, С.М. Крыловым, Р.С. Санжаровским, Ю.П. Гущей, Г.А. Гениевым. Теория ползучести бетона и железобетона развита Н.Х. Арутюняном, И.И. Гольденблатом, С.В. Александровским, А.А. Гвоздевым, Н.Я. Панариным, Н.А. Будановым, С.Е. Фрайфельдом, В.Д. Харлабом, И.Е. Прокоповичем, А.Б. Голышевым, Я.Д. Лившицем, В.М. Бондаренко, А.В. Носаревым, А.М. Проценко, И.И. Улицким, Г.В. Кизиря, В.Г. Назаренко, Р.Л. Серых, Ю.Н. Храмцом, В.И. Римшиным и др.



Рис. 1.1.3. Останкинская башня

Сопротивление железобетонных конструкций при силовом сложном напряженном состоянии рассмотрено А.А. Гвоздевым, С.В. Бондаренко, Н.И. Карпенко, В.Н. Байковым, Ю.В. Зайцевым, Б.С. Соколовым, В.С. Здоренко, Л.К. Лукшей, В.А. Ерышевым, Н.В. Колчуновым, Т.И. Барановой, В.И. Колчуновым, Х.Х. Лаулем, А.С. Зелесовым, В.П. Митрофановым, А.В. Яшиным, П.Ф. Вахненко, К.Л. Суоровым, Г.В. Мурашкиным, а при температурно-влажностном – С.Е. Фрайфельдом, С.В. Александровским, П.И. Васильевым, З.П. Цилюсани, Г.Д. Вишневым, Е.Н. Щербаковым, В.С. Федоровым. Вопросы армирования железобетонных конструкций и сцепления арматуры с бетоном изложены С.А. Дмитриевым, К.В. Михайловым, Н.М. Мулиным, С.А. Мадатяном, А.И. Семеновым, Н.А. Макаровым, И.П. Тегино-

вым, Г.И. Бердичевским, П.Я. Клименко, М.М. Холмянским, А.А. Оатулом, В.Г. Веселовым, П.А. Школьным. Легкие и специальные бетоны и конструкции изучены М.З. Симоновым, В.И. Гусаковым, К.С. Карапетяном, Ю.В. Чиненковым, С.С. Давыдовым, Р.Л. Маиляном, А.В. Пинаджаном, А.В. Носаревым, А.И. Чебаненко, Ю.М. Баженовым, А.Г. Комаром, В.И. Соломатовым, С.Ф. Кореньковой, Р.З. Каримовым, А.Л. Шагиным, А.Б. Пирадовым, Г.Н. Щоршневым, В.А. Пахомовым.

Методы оптимального проектирования железобетонных конструкций разработаны В.Н. Байковым, Н.Н. Складневым, Р.О. Бакировым, В.Г. Назаренко и др.

Одновременно усилиями ученых и инженеров совершенствовались бетонные и железобетонные конструкции. Здесь необходимо отметить вклад Г.К. Хайдукова, В.Н. Байкова, А.И. Васильева, С.Н. Булгакова, Г.А. Гениева, А.И. Звездова, В.И. Травуша, В.П. Чиркова, Г.Н. Шоршнева, В.А. Клевцова, Г.В. Мурашкина, Р.И. Мацелинского, А.П. Кудзиса, В.М. Баташова, А.П. Кириллова, В.В. Шугаеда, А.Л. Шагина, Э.Д. Чихладзе, В.С. Шмуклера и др.

Методы статического и динамического расчета железобетонных конструкций, заглубленных в грунт, разработаны в трудах С.С. Давыдова, Р.О. Бакирова, В.Ш. Барбакадзе, Г.И. Глучикова, В.А. Ильичева, В.А. Котляровского, Б.В. Гусева, В.И. Ресина, В.И. Соломина, С.Б. Ухова, М.В. Берлинова, В.А. Ивахнюка и др.

Большой вклад в технологию строительного производства внесли С.С. Атаев, А.А. Афанасьев, В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус, В.И. Феклин, А. Абарцумян, Г.И. Вайнгартен, А.И. Звездов, К.В. Михайлов, В.Г. Батраков, Ю.С. Волков, Н.И. Карпенко, В.А. Клевцов, Б.А. Крылов, Г.В. Мурашкин, Л.А. Малинина, В.Ф. Степанова, В.Р. Фаликман, Б.И. Петраков, С.Н. Боровиков, В.Н. Самодуров, М.В. Романенко, В.О. Гунин, М.М. Гайнуллин, В.Н. Сизов, Ю.Г. Хаютин, С.В. Масюк, В.А. Отрепьев, Н.А. Смирнов, Б.В. Березовский, Н.И. Евдокимов, Б.В. Жадановский.

Наряду с основным направлением наращивания производства строительных конструкций и изделий полной заводской готовности дальнейшее развитие получает возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона. Практика подтвердила технико-экономические преимущества строительства жилых и общественных зданий, отдельных элементов и конструкций промышленного и производственного назначения в монолитном исполнении. Монолитное строительство позволяет реализовать его ресурсосберегающую возможность, повысить качество и архитектурную выразительность отдельных зданий и комплексов.

В ряде случаев монолитный железобетон более эффективен по расходу металла, суммарной трудоемкости, характеризуется меньшим расходом цемента. Его применение может быть рационально в первую очередь в районах со сложными геологическими условиями, при повышенной сейсмичности, там, где отсутствуют или недостаточны мощности полносборного домостроения, имеет место слабое развитие дорог. Увеличение объемов монолитного строительства стало возможным благодаря интенсивному развитию средств комплексной механизации и автоматизации производства. К ним относятся применение бетонных заводов с автоматизированной системой управления; широкое использование мобильных бетононасосных установок и средств транспортирования; применение прогрессивных конструкций опалубок и опалубочных систем, обеспечивающих высокую индустриальность работ.

1.2. БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Бетон и железобетон в строительстве России занимают ведущее место. Масштабность применения бетона и железобетона обусловлена их высокими физико-механическими показателями, долговечностью, хорошей сопротивляемостью температурным и влажностным воздействиям, возможностью получения конструкций сравнительно простыми технологическими методами, использованием в основном местных материалов (кроме стали), сравнительно невысокой стоимостью.

По способу выполнения бетонные и железобетонные конструкции разделяют на сборные, монолитные и сборно-монолитные. Сборные конструкции изготавливают на заводах, затем доставляют на строящийся объект и устанавливают в проектное положение. Монолитные конструкции возводят непосредственно на строящемся объекте. Сборно-монолитные конструкции выполняют из сборных элементов заводского изготовления и монолитной части, объединяющей эти элементы в единое целое.

Наряду с увеличением объема применения сборного бетона и железобетона возрастает число сооружений, выполняемых с применением монолитных конструкций. Так, в промышленном и гражданском строительстве применение монолитного железобетона эффективно при возведении массивных фундаментов, подземных частей зданий и сооружений, массивных стен, различных пространственных конструкций, стенок и ядер жесткости, дымовых труб, резервуаров, зданий повышенной этажности (особенно в сейсмических районах) и многих других конструкций и инженерных сооружений.

В настоящее время ежегодное производство бетона для монолитного строительства в мире превышает полтора миллиарда кубометров. По объему производства и применения монолитный бетон намного опережает другие виды строительных материалов. В наиболее развитых странах душевой показатель применения монолитного бетона составляет: в США – 0,75 м³; в Японии – 1,20 м³; в Германии – 0,80 м³; во Франции – 0,50 м³; в Италии – 1,10 м³; в Израиле – 2,00 м³ и т. д. В России, для сравнения, – 0,15–0,20 м³.

На изготовление бетона для монолитного строительства расходуется больше половины мирового производства цемента. В монолитном исполнении возводятся промышленные и жилые здания, плотины, энергетические комплексы, телебашни и т. д. (рис. 1.1.6, 1.1.7). Самая высокая в мире телебашня построена из монолитного бетона. Самые высокие здания на всех континентах построены с монолитным железобетонным каркасом, в том числе мировые рекордсмены – два небоскреба нефтяного концерна «Петронас» в Куала-Лумпуре, (Малайзия) (432 м). В США построено уже более 100 небоскребов с монолитным каркасом, бетон уверенно вытесняет сталь из этой области строительства. Обширной областью применения монолитного бетона являются инженерные сооружения (градирни, трубы, резервуары, защитные оболочки АЭС и т. д.). Современные градирни достигают высоты 150 м при диаметре основания 120 м. При этом толщина стены сооружения может составлять всего 19 см.

Резервуары для хранения воды, сжиженного газа и т. д. могут достигать объема в несколько сот тысяч кубометров. Ярким примером строительных возможнос-

тей монолитного бетона являются морские платформы для добычи нефти высотой в несколько сотен метров.

В России в последние годы также наметилась тенденция к увеличению применения монолитного бетона и железобетона в жилищно-гражданском строительстве с использованием инвентарной опалубки, высокопроизводительной технологии и комплексной механизации приготовления, транспортировки и укладки бетонной смеси.

Строительство жилых и общественных зданий с использованием монолитного бетона подтвердило возможность повышения качества архитектурных решений массовой застройки, при относительно меньших приведенных затратах и снижении расхода металла и энергоресурсов, по сравнению с другими видами индустриального строительства.

Все шире используется монолитный бетон при возведении не только общественных и жилых зданий, но и индивидуальных многоэтажных усадебных домов и хозяйственных построек.

Применение монолитного железобетона может быть рационально и экономически выгоднее использования сборного железобетона в первую очередь в районах со сложными геологическими условиями, при повышенной сейсмичности, в местах, где отсутствуют или недостаточны мощности полносборного домостроения без развитой сети автодорог, в сельских районах при наличии местных заполнителей и др.

Строительство из монолитного бетона целесообразно по индивидуальным проектам для зданий и комплексов, выполняющих роль градостроительных акцентов, исторических центров городов, для зданий при комплексной застройке монолитными домами микрорайонов в городах и поселках на основе типизированных условий архитектурно-планировочных элементов; для зданий комбинированных систем, предусматривающих сочетание монолитных конструкций со сборными, кирпичными и др.

Годовой объем производства монолитного бетона и железобетона в России составляет 25–30 млн м³ и по отдельным видам строительства распределяется следующим образом (рис. 1.1.4):

Экономические преимущества монолитных железобетонных конструкций по сравнению с кирпичным и полносборным строительством характеризуются снижением единовременных затрат на создание производственной базы на 20–30%, уменьшением расхода стали на 10–15%, а энергоемкости – до 30% и на 25% мень-

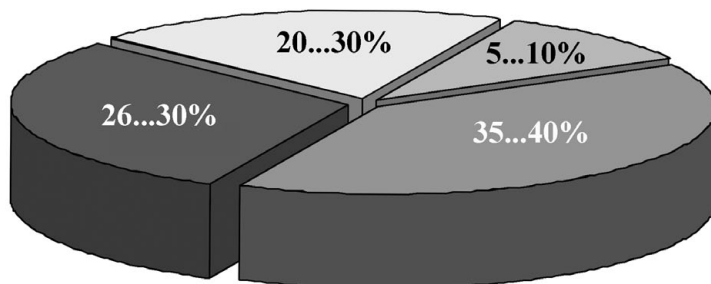


Рис. 1.1.4. Объем производства монолитного бетона и железобетона в России составляет: 35–40% – промышленное и специальное; 26–30% – жилищно-гражданское; 20–30% – подземное и транспортное; 5–10% – сельскохозяйственное и др.

шими по сравнению с кирпичными зданиями той же этажности, суммарными трудовыми затратами. Суммарные трудовые затраты на возведение монолитных конструкций по сравнению с крупнопанельными примерно такие же.

Монолитный бетон и железобетон характеризуются несколько меньшими расходами цемента на 1 м³ бетонной смеси по сравнению со сборным железобетоном. Однако в целом средняя прочность бетона для монолитных железобетонных конструкций ниже средней прочности бетона на тяжелых плотных заполнителях для сборных конструкций. Расход арматуры для отдельных конструкций в монолитном варианте может быть ниже, чем в сборном, за счет использования конструктивных неразрезных элементов, исключения закладных деталей и монтажных петель, отсутствия расчетной арматуры на транспортные и монтажные нагрузки и др. Расход металла в монолитных конструкциях по сравнению со сборными решениями, как правило, ниже для ленточных фундаментов жилых домов на 20%, фундаментов промышленных зданий – на 10%, безбалочных перекрытий многоэтажных промышленных зданий – на 25%. При строительстве 9–16-этажных зданий из монолитного железобетона в сейсмических условиях экономия арматурной стали может достигать 18–20%. В массовом жилищном строительстве при возведении 5–9-этажных домов из монолитного железобетона экономия арматуры составляет менее 5%. Если же при этом учесть, что фактическая оборачиваемость опалубки в монолитном домостроении ниже, чем в сборном, то суммарный расход стали выравнивается.

Трудоемкость арматурных работ в монолитном строительстве в 1,5–2 раза выше, чем при производстве сборного железобетона.

Наиболее рациональные области применения монолитных железобетонных конструкций в производственных зданиях – это фундаменты под колонны и под оборудование; подземные конструкции (подвалы, тоннели и др.); несущие конструкции зданий с сеткой колонн 6х6 м и 6х12 м при нормативных временных нагрузках более 30 кН/м²; каркасы и перекрытия (в том числе безбалочные) многоэтажных зданий при нормативных временных нагрузках свыше 25 кН/м², а также конструкции зданий для горнорудной, горно-химической, цементной, угольной промышленности; стволы жесткости сборно-монолитных многоэтажных зданий и т. д.

В жилищно-гражданском строительстве монолитными целесообразно выполнять: многоэтажные здания разнообразного назначения; различные фундаменты, ростверки свайных фундаментов; стены подвалов; безбалочные перекрытия, в том числе ребристые, по стальному профилированному настилу; перекрытия, выполняемые методом подъема; стволы жесткости для каркасных зданий большой этажности; пространственные покрытия типа оболочек, для большепролетных сооружений спортивного, зрелищного назначения, рынков.

Расход основных строительных материалов в зданиях повышенной этажности в монолитном железобетоне различается довольно широко, в зависимости от конструктивной схемы, прочностных характеристик материалов, величины действующих нагрузок и других факторов. В среднем расход бетона на 1 м² общей площади этажей составляет от 0,4 до 0,7 м³, а стали – от 25 до 70 кг. Монолитные решения целесообразны в инженерных сооружениях, это – емкостные сооружения, силосы, дымовые трубы, градирни и др. В транспортном и подземном строительстве – автодо-

роги (за исключением временных), мосты (средних пролетов), тоннели при сооружении открытым способом.

В энергетическом строительстве только монолитными могут возводиться плотины ГЭС, фундаменты, реакторные отделения АЭС, корпуса реакторов и защитных оболочек.

В сельскохозяйственном строительстве в монолитном исполнении строятся столбчатые и ленточные фундаменты, склады, коллекторы, полы зданий производственного назначения.

В России объем арматуры, перерабатываемой для монолитного железобетона, составляет примерно 50% от общего объема применяемой арматуры. Основная область применения монолитного бетона и железобетона в России – фундаменты, подземные и другие массивные строительные сооружения. Только 25–30% от общего объема монолитного железобетона расходуется на надземные части зданий и сооружений. В будущем эта доля будет увеличиваться, так как монолитный железобетон особенно эффективен при реконструкции зданий и сооружений.

При использовании монолитного бетона может происходить некоторое повышение трудозатрат на строительной площадке. Однако эти недостатки можно свести к минимуму путем индустриализации производства выполнения бетонных работ.

Затраты рабочего времени в монолитном строительстве представлены на диаграмме (рис. 1.1.5).

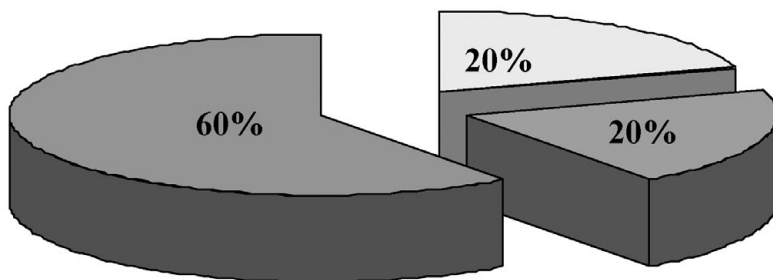


Рис. 1.1.5. Затраты рабочего времени в монолитном строительстве составляют на работы: опалубочные – 20%; арматурные – 20%; приготовление, транспортирование и укладку бетона – 60%

Ежегодно в России возводится около одного миллиона квадратных метров общей площади жилых зданий из монолитного бетона, более одного миллиона квадратных метров общественных и административных зданий. Применяется монолитный бетон также при возведении первых этажей нежилых зданий, лифтовых шахт в каркасных и панельных зданиях, большепролетных конструкциях, фундаментах.

При строительстве жилых и общественных многоэтажных зданий разработан метод подъема этажей, монолитная конструкция при этом выполняется в виде плоских железобетонных безбалочных плит.

Особенно эффектно выглядят в монолитном бетоне телевизионные башни, являющиеся достопримечательностями многих городов. На сегодня самым высоким в мире отдельностоящим сооружением является телебашня в Торонто (555 м). Есть более высокие стальные мачты, но они раскреплены растяжками. В Германии и

Японии широко строятся в переставной опалубке резервуары яйцевидной формы для очистных сооружений. К настоящему времени их построено общей емкостью более 1 млн м³. Единичные емкости таких резервуаров – от 1000 до 12 тыс. м³.

Наиболее выдающимся примером применения скользящей опалубки следует считать бетонирование кессона нефтедобывающей платформы в Норвегии, где периметр одновременно бетонизируемых стен и диафрагм суммарно достигал 2 км. Скользящая опалубка одномоментно перемещалась с помощью 1000 гидравлических домкратов.

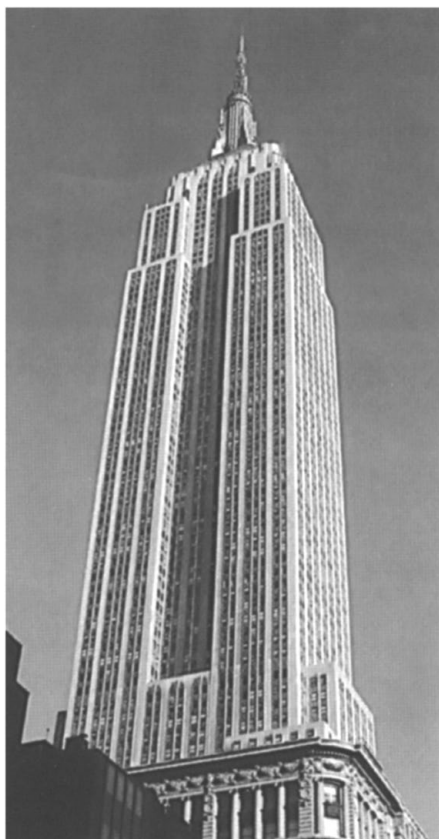


Рис. 1.1.6. Монолитное здание



Рис. 1.1.7. Здания с монолитным железобетонным каркасом

Современные самоподъемные опалубки позволяют менять угол наклона стен. Так, при бетонировании стен здания солнечных часов в Диснейленде во Флориде угол наклона стен менялся от 11 до 5 градусов. Наклон стены выставочного павильона на выставке ЭКСПО-92 в Севилье составил 15 градусов (для сравнения: наклон Пизанской башни составляет 6 градусов).

Опалубка также может перенастраиваться и в плане. Разработаны системы, где радиус опалубочной поверхности может меняться от 1 м до бесконечности, т. е. в плане очертание стены меняется от дуги до горизонтальной прямой.

При бетонировании стен тоннеля в Саксонии радиус поворота оси тоннеля составил 160 м, что было обеспечено конструкцией катучей опалубки. Современная опалубка рассчитывается на давление свежееуложенного бетона до 12 т/м² (120 кН/м²).

Такие опалубки проектируются с применением новейших компьютерных программ.

Возможности реализации сложных планов зависят от конструктивных систем опалубки. Разработанные системы опалубки позволяют решать самые разнообразные задачи. Так, при строительстве гостиницы в Гамбурге на плане первого этажа были запроектированы колонны самых различных сечений (круглая, крестообразная, «трилистник» и т. д.). Высота колонн составляла 11 м. Арматурный каркас монтировался внутри опалубки в горизонтальном положении перед ее установкой в проектную позицию. Повышенная скорость монтажа различных систем опалубки из-за высокой стоимости рабочей силы может дать существенный экономический эффект. Так, по подсчетам немецкой фирмы PERI, ускорение монтажа на 6 минут на 1 м² опалубки при 200 оборотах дает экономию денежных средств в 1000 EURO на 1 м², что в несколько раз превышает стоимость самой опалубки.

Примером высокоточных бетонных работ с помощью самоподъемной опалубки может служить строительство небоскреба высотой около 200 м во Франкфурте, где проемы в монолитных стенах фасада выполнялись с допуском ± 5 мм. Периметр наружных стен здания в плане составлял 210 м. Темп бетонирования составлял 8 дней на один этаж. Качество поверхностей стен после демонтажа опалубки делало возможным выполнение отделочных работ без дополнительной доводки (затирки).

Монолитный бетон, как уже упоминалось, находит также достаточно широкое применение в малоэтажном строительстве. Так, опалубочные системы компании «Утинор» (Франция) позволяют бригаде из 7 человек бетонировать ежедневно одну блок-секцию на две квартиры трех-, четырехэтажного типового дома. Перспективно применение в малоэтажном строительстве несъемной опалубки, например, из пенополистирола. Такая опалубка собирается насухо с применением связей между наружным и внутренним слоями из отдельных блоков толщиной 7–10 см и нескольких типоразмеров. После набора прочности бетоном, залитым внутрь, снаружи такая стена штукатурится полимерным раствором по сеткам из стекловолокна или цементным раствором по стальной сетке.

Разработаны эффективные методы выдерживания бетона в зимних условиях, позволяющие возводить бетонные и железобетонные конструкции при весьма низких температурах наружного воздуха без снижения их качества.

Монолитный железобетон обладает рядом преимуществ по сравнению с металлом при использовании в каркасах высотных зданий. Во-первых, одно из основных преимуществ – более эффективная диссипация (рассеяние) энергии колебания зданий при ветровых нагрузках. Во-вторых, поперечные сечения ядер могут иметь большие площади, что обеспечивает существенное повышение моментов сопротивления и соответственно незначительную деформативность таких зданий. Например, горизонтальные отклонения верха здания обычно не превышают 1/1000 его высоты, и, наконец, с разработкой высокоподвижных, высокопрочных бетонов подача материала на высоту может осуществляться бетононасосами, что намного эффективнее крановых операций, неизбежных при монтаже стальных конструкций.

При возведении высотных монолитных зданий применяются различные конструктивные системы. Наиболее распространенными являются системы с ядрами (стволами) жесткости. Обычно в ядре жесткости находятся лифтовые шахты. Ядро, или ствол, имеет по периферии плана каркас или систему диафрагм для обеспечения пространственной работы здания. Вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимаются стволом и диафрагмами.

Нередко вместо ядра жесткости по периметру плана здания бетонируется пространственный контур-оболочка, работающий совместно с дисками перекрытий и расположенными внутри колоннами, воспринимающими в основном вертикальную нагрузку.

К другим конструктивным системам относится этажерочный каркас, когда несколько ядер (стволов) жесткости соединены массивными поперечными архитравами в нескольких уровнях по высоте здания. На архитравы опирается блок из 10–20 этажей.

Для таких зданий применяют бетон высокой прочности. В г. Далласе (США) при строительстве 58-этажного административного здания «Ту Юнион Сквер» в колоннах использован бетон прочностью 160 МПа. Применение сверхпрочного бетона позволило уменьшить расход стали более чем в 2 раза и на 30% снизить стоимость строительства. Обычной же практикой является использование для этих целей бетона прочностью 60 МПа и выше.

Для зарубежного строительства характерна высокая культура работы с бетоном. Так, при возведении небоскреба «Уотер Тауэр» в г. Чикаго (74 этажа) были применены 24 состава бетонной смеси, различных по высоте здания. Для ствола жесткости и колонн каркаса наружных стен с 1-го по 25-й этаж – бетон прочностью 62 МПа, с 25-го по 74-й этаж прочность снижалась последовательно до 52, 41, 34 и 28 МПа. В междуэтажных перекрытиях применяли легкий бетон прочностью 45, 38 и 34 МПа. Это позволило на 26% снизить нагрузку от собственного веса, уменьшить глубину заложения фундамента, получить существенный экономический эффект (*рис. 1.1.8*).

Здание нефтяной компании «Петронас» в Куала-Лумпуре (*рис. 1.1.9*) на сегодня один из мировых рекорсменов среди небоскребов. Небоскреб «Петронас» выполнен в виде двух рядом стоящих башен, соединенных примерно посередине стальным мостиком.

Каждая башня – круглого очертания в плане, имеет по периметру 16 железобетонных колонн диаметром 2,4 м каждая, связанных в уровне каждого этажа кольцевыми балками, образуя внешний несущий каркас. Перекрытия выполнены монолитными по стальному профилированному настилу и опираются на кольцевые балки и ствол жесткости по центру сечения. Полная высота сооружения от основания свайного фундамента до верхней точки телеантенны на крыше – 582 м. Бетонирование велось в переставной опалубке с помощью бетононасосов.

В США самый высокий небоскреб с железобетонным каркасом – «Саут Вакер» в Чикаго (296 м, или всего на 4 м ниже Эйфелевой башни в Париже). Общий объем уложенного бетона при его возведении составил 84 тыс. м³ при средней прочности 84 МПа. Ежедневный объем укладки составлял 535 м³. Строительство обслуживалось всего одним насосом (фирмы «Швинг»), с вылетом стрелы с бетоноводом на месте укладки в 32 м.

Укладку значительных объемов бетона производят, как правило, с помощью мощных бетононасосов. Так, в Германии 35% всего монолитного бетона укладывают с помощью бетононасосов, в Швеции – 55%, высота стрелы крупных автобетононасосов достигает 60 м, а производительность – 150 м³/ч и более.



Рис. 1.1.8. Небоскреб «Уотер Тауэр»

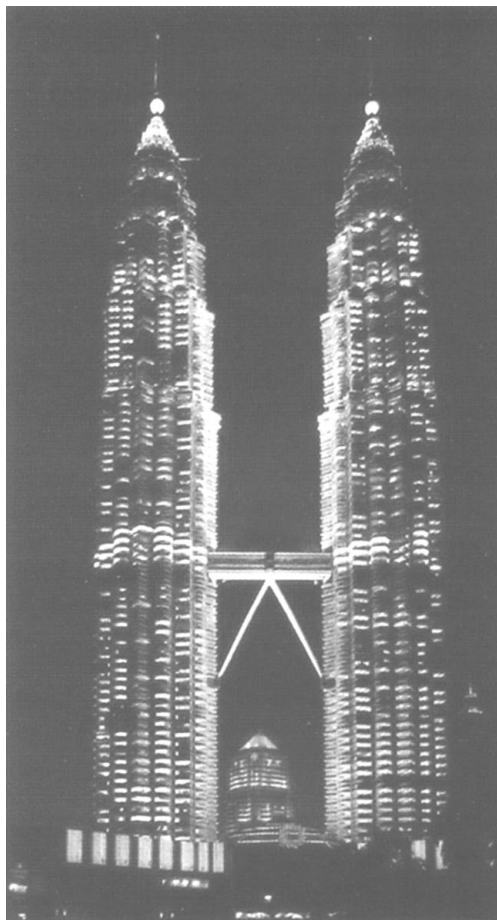


Рис. 1.1.9. Здание нефтяной компании «Петронас»

Мировой рекорд подачи бетонной смеси на высоту 500 м был достигнут насосом фирмы «Пуцмайстер» в Альпах (Италия). При возведении небоскребов «Петронас» в Малайзии высота подачи смеси составила 432 м. Мировой рекорд перекачки бетона по горизонтали превышает 2 км.

За последние годы в США было построено более 100 млн м² монолитных перекрытий с натяжением арматуры на бетон. Значительный объем таких перекрытий возведен в Канаде.

Предварительно напряженная арматура в монолитных железобетонных конструкциях (перекрытия, мосты, высотные сооружения и т. д.) в последнее время применяется без сцепления с окружающим бетоном. Для защиты от коррозии арматурные элементы (канаты) помещаются в специальные оболочки, заполненные антикоррозионным составом.

В монолитных перекрытиях, мостах, емкостных сооружениях, напорных сосудах траектории напрягаемой арматуры могут иметь весьма сложные очертания, исходя из эпюр действующих усилий.

Монолитное бетонирование является основным методом при строительстве дорог. Современные машины позволяют бетонировать основание проезжей части шириной до 16 м за один проход.

Монолитный предварительно напряженный железобетон, помимо традиционных строительных целей, нашел широкое применение для возведения корпусов реакторов и защитных оболочек АЭС. В настоящее время мощность атомных электростанций в мире превышает 150 млн кВт, в том числе доля АЭС с применением преднапряженного железобетона для корпусов реакторов и защитных оболочек составляет более 40 млн кВт. Защитных оболочек из преднапряженного железобетона построено более 100.

В корпусах реакторов бетон находится в очень суровых условиях эксплуатации. На атомной электростанции «Вилфа» в Великобритании возведено два реактора с корпусами из преднапряженного железобетона. Масса каждого корпуса – 50 тыс. т. Бетон работает при постоянной температуре 400 °С и давлении внутри корпуса 28 атмосфер.

Морские сооружения из железобетона, построенные в последние десятилетия за рубежом, потребовали мобилизации всей суммы инженерных знаний, достигнутых в области строительства. Идея предварительного изготовления сооружения в котловане или доке, в виде блока с последующей его буксировкой к месту эксплуатации, получила распространение в самых различных областях строительной практики. Сюда можно отнести нефтедобывающие платформы, швартовые порталы, массивные якоря, тоннели и другие стационарные сооружения, силовые установки, плавучие доки, а также другие плавучие средства, используемые для работ в океане.

В Норвегии возведена нефтедобывающая платформа «Галфакс С». Платформа рассчитана на эксплуатацию в море на глубине 216 м, общая же высота сооружения превышает 300 м. Водоизмещение платформы в момент буксировки составило 1,5 млн т, т.е. намного превышало водоизмещение наиболее крупных супертанкеров. На изготовление платформы было израсходовано 246 тыс. м³ бетона класса В65–В70, 75 тыс. т напрягаемой арматуры. На отдельных участках днища густота армирования достигала 1000 кг арматуры на 1 м³ бетона, что примерно в десять раз выше насыщения арматурой обычных конструкций.

Выдающимся примером строительно-технических возможностей монолитного железобетона является построенная в 1995 году в Норвегии другая платформа – «Тролл» – для добычи нефти (а всего их построено более 20). Ее полная высота – 472 м, что в полтора раза выше Эйфелевой башни. Платформа установлена на участке моря глубиной более 300 м и рассчитана на воздействие ураганного шторма с максимальной высотой волны 31,5 м. На ее изготовление было израсходовано

250 тыс. м³ высокопрочного бетона класса В80, 100 тыс. т обычной стали и 11 тыс. т напрягаемой арматурной стали. Расчетный срок эксплуатации платформы – 70 лет. Скорость перемещения скользящей опалубки при бетонировании колонн составляла 4–5 м в день.

За рубежом возведен ряд интереснейших объектов с применением пространственных конструкций из монолитного железобетона, относящихся к наиболее примечательным достижениям строительной практики. Так, в Сиэтле (США) построен ребристый железобетонный купол с пролетом 220 м. Монолитные оболочки обладают эффектной архитектурной выразительностью, например здание Национального центра техники и промышленности в Париже в районе площади Дефанс с пролетом 216 м имеет опирание на три точки.

Обширной областью применения железобетона, и прежде всего предварительно напряженного железобетона, является мостостроение. Только в США построено более 500 тыс. железобетонных автодорожных мостов с различными пролетами. За последнее время построено около 20 вантовых мостов длиной 600–700 м с центральными пролетами от 192 до 400 м. Из общего числа вантовых мостов только четыре – стальные, остальные – из железобетона.

В г. Брисбен (Австралия) построен балочный мост с центральным пролетом 260 м, наибольшим среди мостов этого типа (возведенный недавно мост аналогичного типа в России, в Москве, на кольцевой автодороге имеет наибольший пролет 144 м). Мост «Барнос де Луна» в Испании имеет пролет 440 м, мост «Анасис» в Канаде – 465 м, мост в Гонконге – 475 м. Арочный мост в Южной Африке – наибольший пролет 272 м и т. д. Мировой рекорд для вантовых мостов принадлежит мосту «Нормандия», где достигнут пролет 864 м. Немногого ему уступает мост «Васко да Гама» в Лиссабоне, построенный к Всемирной выставке ЭКСПО-98. Общая протяженность мостового перехода превышает 18 км.

Разработаны методы возведения мостов путем поворота пролетного строения в проектное положение в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Причем в последнем случае пролетное строение первоначально бетонируют вертикально в скользящей опалубке.

Из конструктивно-технологических приемов следует отметить дифференцирование расхода цемента в различных частях сечения пролетного строения, бетонируемых одновременно (нижней плите, стенах, верхней плите) для достижения одинаковой прочности бетона к моменту предварительного напряжения арматуры.

При сооружении висячего моста «Акаши Кайко» в Японии близ г. Кобе со стальными пилонами были забетонированы опоры под пилонами диаметром почти 80 м и высотой 70 м. Центральный пролет этого моста длиной 1990 м сразу более чем на 500 м перекрывает по длине мировой рекорд для этого типа мостов. Объем бетона со специальными добавками, уложенного в каждую опору, составил почти 0,5 млн м³.

Из крупных инженерных сооружений, выполненных в монолите, следует отметить построенный в Японии подводный тоннель из девяти сборных секций длиной 115 м, шириной 37 м, высотой 8,8 м и массой 38 тыс. т каждая. Технология строительства таких тоннелей предусматривает изготовление сборных секций в котловане, затем транспортировку их в плавучем состоянии к месту установки, затоплива-

Учебное пособие

Сергей Михайлович **Анпилов**

**ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА**

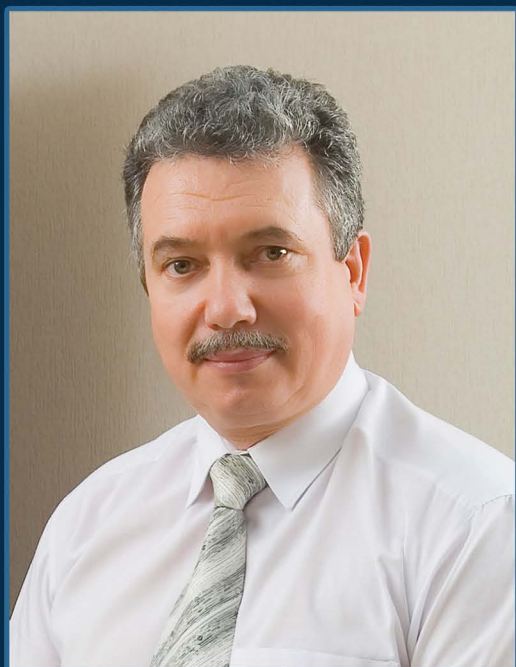
Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Верстальщик: *Е.М. Лютова*

Компьютерный дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Формат 70x100 1/16
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Усл. 36 п.л. Заказ №

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



С.М. Анпилов – Заслуженный изобретатель Российской Федерации, Почетный строитель Минэнерго РФ, советник Российской академии архитектуры и строительных наук,

доктор технических наук, профессор кафедры «Железобетонных и каменных конструкций» Самарского государственного архитектурно - строительного университета, член Правления Российского союза строителей, член Союза архитекторов России, руководитель генподрядного проектно - строительного Предприятия в городе Тольятти.

Он одним из первых на территории Самарской области внедрил и успешно применяет в практике строительства технологию возведения зданий и сооружений с использованием монолитного железобетонного безригельного каркаса.

Автор 2-х монографий, 23 научных работ, 52 патентов на изобретения, промышленные образцы и полезные модели.

