

**А.Н. Добромыслов**

# **ОШИБКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**



**А.Н. Добромыслов**

**ОШИБКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва 2008

### **Рецензенты:**

профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций  
Московского государственного строительного университета,  
кандидат технических наук *А.И. Бедов*;  
заведующий сектором конструкций института «ЦНИИПромзданий»,  
кандидат технических наук *В.Н. Ягодкин*.

### **Добромыслов А.Н.**

Ошибки проектирования строительных конструкций: Научное издание. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 208 с.

ISBN 978-5-93093-470-0

В книге рассмотрены мало освещённые в литературе вопросы возникновения ошибок при проектировании строительных конструкций и их последствия.

Приведены наиболее часто встречающиеся ошибки при проектировании железобетонных, стальных, деревянных и каменных конструкций, оснований и фундаментов.

Проанализированы аварии зданий и различных инженерных сооружений, вызванные ошибками проектирования. Отдельно рассмотрены ошибки при проектировании зданий и сооружений в сейсмических районах.

Дана методика экспертной оценки проектов строительных конструкций сооружений на предрасположенность к аварии.

Книга рассчитана на инженеров-проектировщиков и студентов строительных вузов.

ISBN 978-5-93093-470-0

© Добромыслов А.Н., 2008

© Издательство АСВ, 2008

Научное издание

Андрей Николаевич **Добромыслов**

## **ОШИБКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Редактор: *В.П. Бурмакин*

Компьютерная верстка: *Т.А. Кузьмина, В.П. Бурмакин*

Дизайн обложки: *Н.С. Кузнецова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано к печати 20.08.08. Формат 60х90/16.

Бумага офс. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. 13,0 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511  
тел., факс: (495)183-56-83, e-mail: [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru), <http://www.iasv.ru>

# Оглавление

|  |     |
|--|-----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ .....  | 4   |
| 1. ПРИЧИНЫ ОШИБОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....   | 5   |
| 1.1. Основные причины ошибок .....   | 5   |
| 1.2. Краткий исторический обзор .....  | 11  |
| 1.3. Основные понятия о надёжности .....   | 19  |
| 1.4. Анализ аварий .....   | 24  |
| 1.5. Исходные данные для проектирования .....  | 27  |
| 1.6. Выбор типа конструкции .....  | 29  |
| 1.7. Расчётная схема .....   | 32  |
| 1.8. Необходимая точность расчёта строительных конструкций .....   | 40  |
| 1.9. Исследование надёжности конструктивных систем<br>сооружений .....   | 45  |
| 1.10. Экспертная оценка надёжности .....   | 57  |
| 1.11. Анализ безопасности .....  | 65  |
| 1.12. Принятие решений в условиях неопределенности .....   | 71  |
| 2. ОШИБКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ<br>КОНСТРУКЦИЙ .....   | 78  |
| 2.1. Общие причины ошибок .....  | 78  |
| 2.2. Основания и фундаменты .....  | 85  |
| 2.3. Железобетонные конструкции .....  | 96  |
| 2.4. Стальные конструкции .....  | 101 |
| 2.5. Деревянные конструкции .....  | 107 |
| 2.6. Каменные конструкции .....  | 113 |
| 3. АВАРИИ, ВЫЗВАННЫЕ ОШИБКАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....   | 127 |
| 3.1. Жилые и общественные здания .....   | 127 |
| 3.2. Производственные здания .....   | 138 |
| 3.3. Инженерные сооружения .....   | 144 |
| 3.3.1. Подпорные стены .....   | 144 |
| 3.3.2. Железобетонные резервуары и ёмкости .....   | 148 |
| 3.3.3. Стальные резервуары .....   | 152 |
| 3.3.4. Силосы и бункеры .....  | 159 |
| 3.3.5. Конвейерные галереи .....   | 165 |
| 3.3.6. Опоры и эстакады технологических трубопроводов ..   | 170 |
| 4. РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ .....   | 172 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень зарегистрированных аварий зданий<br>на территории Российской Федерации в 1998 г.<br>по данным Госстроя России ..... | 186 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Уровень ответственности сооружений .....   | 192 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Категории сложности инженерно-геологических<br>условий .....   | 194 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Характер действия источников природных<br>опасных ситуаций .....   | 196 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Характер действия источников техногенных<br>опасных ситуаций .....   | 199 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Рекомендуемый порядок при разработке<br>новых конструктивных решений .....   | 201 |
| ЛИТЕРАТУРА .....   | 204 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время в России наблюдается увеличение масштаба нового строительства и реконструкции существующих зданий и инженерных сооружений. Возводятся уникальные строительные объекты.

В связи с распадом крупных строительных проектных и научно-исследовательских институтов проектирование строительных объектов часто осуществляют мелкие проектные организации, не имеющие достаточно опыта и высококвалифицированных специалистов, что способствует при проектировании возникновению неудачных конструктивных решений и ошибок. При проектировании новых конструктивных систем высотных зданий, большепролётных конструкций, новых типов инженерных сооружений имеется опасность возникновения ошибок вследствие отсутствия проверенных на практике их конструктивных решений.

Инженерам, осуществляющим проектирование, необходимо знать не только лучшие конструктивные решения, которые следует принимать в процессе работы, но также те ошибки, которых следует избегать. Каждая ошибка несёт в себе элементы обучения, иногда достигнутого дорогой ценой. Поэтому изучение повреждений и аварий и их причин особенно полезно для молодых инженеров и студентов.

Как известно, надёжность и безаварийность зданий и инженерных сооружений обеспечивается качеством проекта, изготовления и эксплуатации его строительных конструкций. Ошибки, допущенные при проектировании, изготовлении и эксплуатации строительных конструкций, могут привести к аварии.

Что касается исследования ошибок при проектировании строительных конструкций, то они не нашли должного освещения в отечественной и зарубежной литературе.

Всё это послужило поводом к написанию монографии, освещающей данную проблему.

В основу настоящей книги положены исследования автора по анализу ошибок, возникающих при проектировании строительных конструкций, выявленных им при натурных обследованиях строительных объектов, а также данных крупных аварий, заимствованных из отечественных и зарубежных литературных источников.

Материал книги разделён на три основных раздела: изучение причин возникновения ошибок на различных этапах проектирования строительных конструкций сооружения; виды ошибок, допускаемых при проектировании различных строительных конструкций; аварии строительных объектов, вызванные ошибками проектирования, в том числе и при землетрясениях.

Автор надеется, что материал, изложенный в книге, послужит в дальнейшем делу обобщения ошибок в области проектирования строительных конструкций, что будет способствовать повышению надёжности и качества строительства в нашей стране.

# 1. ПРИЧИНЫ ОШИБОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## 1.1. Основные причины ошибок

История развития техники показывает, что при разработке проектов часто возникают по тем или иным причинам ошибки.

Иногда допущенные ошибки приводят к драматическим авариям или катастрофам, большим материальным потерям от неэффективного проектного решения. Возникновение ошибок при проектировании не исключено и в будущем.

Современному проектировщику кажется простой и ясной существующая методика проектирования и считается, что при этом возможность ошибок минимальная. Однако, в действительности можно совершить ошибку в самых фундаментальных аспектах процесса проектирования, который является достаточно сложным.

Любая теория имеет ограниченную область применения, а границы этой области не исследованы. Последующее историческое развитие и сопоставление применяемых теорий с практикой приводит к их уточнению или ограничению областей применения, а нередко и к полному их пересмотру.

При разработке проектов инженерам приходится сталкиваться с различными видами неопределённостей, которые характеризуются либо неполнотой или неточностью информации, либо возможностью отклонения исходных данных. Повышение уровня знаний и улучшение осведомлённости приводит к уменьшению неопределённости.

К сожалению, до сих пор исследованию причин возникновения ошибок и их последствий посвящено незначительное количество работ.

В ходе исторического развития деятельность людей сопровождалась ошибками как в области техники, так и других областях: политики, экономики, военном деле, медицине и т. п.

Чем объёмнее ставились задачи проекта, тем больше возникало ошибок при его реализации, а также всегда имелась опасность возникновения катастрофических ошибок, сводящих на нет замысел проекта.

При реализации проекта следует всегда стремиться к избежанию катастрофических ошибок и минимизировать общее количество ошибок.

Возникающие ошибки при проектировании можно разделить на две группы: ошибки природного характера и ошибки человека, связанные с человеческим фактором.

Ошибки природного характера вызваны форс-мажорными обстоятельствами: войны, стихийные бедствия, глобальные природные и техногенные катастрофы. Эти ошибки связаны с отсутствием или невозможностью понимания сложных природных явлений и процессов во вселенной и её биологическом развитии. Ошибки природного характера как правило не поддаются анализу и предотвращению.

Ошибки человека связаны с природой мышления в ходе исторического развития. Они вызваны недостаточным пониманием законов природы, отсутствием достаточных статистических данных для принятия решения, ошибками, вызванными человеческим фактором. Эти ошибки поддаются анализу и предотвращению.

Возможным источником ошибок является недостаточный уровень знаний каждого конкретного проектировщика. В современном мире непрерывного расширения и обновления научно-технических знаний отдельному человеку становится всё трудней ориентироваться в окружающей действительности. Здесь неопределимую роль могут сыграть постоянное обучение и переобучение.

Нарастающее расширение знаний ведёт к усиливающейся специализации во всех областях. Работа руководителя проекта над общими задачами проекта становится всё сложнее и многогранней. Опасность ошибок становится больше вследствие того, что определённые точки зрения могут оказаться неучтёнными, так как никто не отвечает за это. Следовательно, для безопасности сооружения первостепенную роль играет осознание руководителем имеющегося риска при разработке проекта с ясным и чётким распределением ответственности в коллективе исполнителей и полным обеспечением информации между всеми участниками строительного процесса.

Представляет опасность и ошибочные действия человека из-за халатности, безответственности, недобросовестности исполнения.

Идея, всецело увлечённая, захватившая человека, является мощнейшим генератором как наиболее удачных решений, так и источником многих провальных проектов и решений, вызванных неприятием других подходов, известных и доступных знаний. Столкновение может быть явным или скрытым, проявляющимся в полном неприятии других подходов, взглядов, в отбрасывании всего, что не совпадает с профессиональным стереотипом специалиста. Стереотип обычно складывается в процессе обучения и служит основой автоматических навыков. Наличие стереотипных образцов даёт человеку возможность в определённых типовых ситуациях, не теряя времени на размышление, действовать наиболее рациональным образом. Воздействие стереотипов мышления наиболее явно проявляется в сложных ситуациях, когда содержатся новые неизвестные элементы и, следовательно, не укладывается в традиционное представление лица, оценивающего конкретную ситуацию. Особенно часто руководитель прибегает к стандартному выбору, действуя по определенному стереотипу, когда принимает решения, сопряжённые с риском.

Неправильная теория, неопределённость в понятиях являются наиболее опасным источником ошибок. Неправильная теория не может дать достоверных результатов. Чем примитивнее теория природного или социального явления, тем удобнее выстроить её внешне безупречно, выборочно представить те или иные факты, которые её подтверждают.

Правильность теории проверяется экспериментом, а также совпадением результатов с фактическими данными при её внедрении. На правильность теории указывает возможность теоретически предсказать или рассчитать показатели или событие. Если теория, на основании которой построен показатель, правильна, то всегда возможно повышение точности за счёт улучшения методов наблюдений и вычислительных операций.

Важнейшей структурной составляющей ошибок является ошибочное написание расчётных зависимостей в опубликованных документах. Далеко не всегда указываются допущения, сделанные в процессе выводов зависимостей, отсутствуют промежуточные выкладки, приводящие к конечным зависимостям, частой является ситуация, когда приводятся исходные зависимости, а после довода «как легко доказать» приводится конечный результат, проверить который фактически невозможно.

По мере всё более широкого внедрения компьютеров с их мощным программным обеспечением всё большее число пользователей работают с ними, не задумываясь о возможных последствиях (не зная, какие методы, физические зависимости, алгоритмы, допущения и ограничения заложены в используемый программный комплекс). Всё это может привести к существенным отрицательным последствиям – созданию абсолютно недостоверных результатов. Возможны также ошибки в написании программ, которые обычно проявляются при выполнении неординарных объектов.

Чтобы избежать грубых ошибок, нужно выявлять незнание на личном уровне и отделять его от незнания законов и явлений. Основой предупреждения ошибок от незнания является умение сомневаться.

Ликвидировать незнание можно путём расширения информационных ресурсов, в том числе из иных проблемных областей, а также проведя дополнительные исследования.

Примером незнания является строительство плотины, закрывающей залив Кара-Богаз-Гол на Каспийском море. Не зная истинных причин изменения уровня Каспийского моря, в основу его спасения от обмеления был положен проект, который загубил залив и дал колоссальные убытки. Одной из ошибок при проектировании плотины явилась недостаточная ретроспектива в исследовании колебаний уровня моря и их неправильная интерпретация. К сожалению, как правило, незнание становится ясным после, а не до принятия решений.

Ошибки человека не учитываются при проектировании. Сегодня нет таких нормативных документов, которые содержат коэффициент надёжности по учёту недостатков качества за счёт ошибок человека.

Важнейшим средством обнаружения ошибок является контроль в процессе проектирования. Контроль имеет не только прямую задачу находить ошибки, очень важно его косвенное психологическое влияние на качество строительства. На практике контроль сегодня в большей степени полагается на опыт и интуицию руководителя проекта и инженерного надзора. В будущем следует обратить внимание на разработку эффективной системы



контроля. Следует также изучить опыт других отраслей: авиации, атомной энергетики, где система контроля разработана достаточно эффективна.

Анализ ошибочных решений деятельности человека, основанный на историческом опыте, позволяет сформулировать общие причины возникновения ошибок и путей их предотвращения.

Ошибки человека бывают обусловлены следующими причинами:

- недостаточной информацией;
  - отсутствием широкого кругозора или его односторонним подходом при решении задач, что часто связано с предыдущей деятельностью исполнителя;
  - недостаточным опытом исполнителя в данной области;
  - переоценкой, как правило, в лучшую сторону, своей деятельности.
- Отсутствием проработок при пессимистическом развитии событий;
- отсутствием альтернативных методик и критических замечаний оппонентов;
  - плохой организацией трудового процесса;
  - неудовлетворительным производственным климатом: недостаток времени и средств, плохие взаимоотношения в коллективе.

Уменьшению количества ошибок может способствовать осуществление следующих мероприятий:

- наличие полной информации и статистических исследований в предполагаемой области деятельности;
- хорошая организация трудового процесса с использованием научной организации труда;
- совершенствование профессионализма и соответствующий подбор опытных кадров исполнителей. Личная ответственность исполнителей;
- организация свободных дискуссий в данной области деятельности;
- учёт возможности негативного развития событий и разработок при этом запасного варианта;
- стабильность деятельности (постепенность принятия решений. Переход от простого к сложному. Отсутствие спешки при принятии сложных и принципиальных решений, а также в случае неясной ситуации);
- создание резервов запаса на непредвиденные ситуации.

Правильность принимаемого решения обычно характеризуется близким совпадением результатов по различным и часто противоположным методикам осуществления проекта и положительными результатами уже обычно через год с начала реализации проекта (положительный результат от реализации проекта, проявляющийся спустя некоторый срок после его осуществления, связан с инерционностью процесса).

Приведём примеры для иллюстрации вышеизложенного из области строительства.

В 1994 году одна строительная фирма на окраине Москвы решила построить коттеджный посёлок. При реализации данного проекта намечалось получить значительную прибыль. Для этой цели был приобретён участок застройки, разработан проект строительства, с американской фирмой был заключен контракт на поставку сборных домов. Часть домов по проекту уже была построена, когда выяснилось, что для подвода коммуникаций: газа, водопровода, канализации, электричества требуются значительные капитальные вложения, которые не были учтены в первоначальном проекте. В результате допущенной ошибки при проектировании строительная фирма разорилась. Причиной ошибки проекта явилась недостаточная экономическая проработка проекта и отсутствие информации об условиях подключения к существующим сетям.

В 1960-х годах в скандинавских странах был широко разрекламирован новый строительный материал для строительства стен зданий. Как показало предварительное исследование, материал имел малую теплопроводность и малый вес, был технологичен в изготовлении, достаточно дешёв, легко обрабатывался ручным инструментом, т.е. являлся идеальным материалом для малоэтажного строительства. Внедрение этого материала осуществляла фирма, которая разрабатывала проекты и осуществляла строительство. Из этого материала было построено значительное количество домов, когда выяснилось, что после нескольких лет эксплуатации стены из данного материала стали разрушаться. Первоначально фирма-строитель осуществляла ремонт поврежденных домов за свой счёт, но в конечном итоге она разорилась. Причиной ошибки явилось несоответствие расчётных предпосылок принятых при проектировании, действительным в частности долговечности материала.

При строительстве в СССР завода Атоммаш проектировщики под давлением партийного руководства страны приняли неблагоприятную для строительства площадку с просадочными грунтами в г. Волгодонске. Хотя были предприняты меры по предотвращению просадок грунтов от их увлажнения, однако после постройки завода в конструкциях зданий возникли недопустимые деформации от неравномерных осадок фундаментов, в результате чего эксплуатация завода стала невозможной. В данном случае проектировщики приняли ошибочное решение о строительстве ответственного и дорогостоящего объекта на площадке с грунтами, при котором имела большая вероятность их просадок от увлажнения при эксплуатации.

Ошибкам часто способствует применяемая в настоящее время методика проектирования.

Проектирование часто осуществляется в узком кругу проектировщиков и не обсуждается в широком кругу специалистов и независимыми экспертами<sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Здесь следует упомянуть, что принятая ранее в СССР методика проектирования в строительстве (в отличие от качества строительства) отвечала требованиям надёжности и соответствовала мировому уровню развитых стран. В частности большинство сооружений осуществлялась с использованием типовых проектов и типовых конструкций массового применения.

Проектировщик часто копирует проектные решения, выполненные ранее, не учитывая влияния отличительных особенностей сооружения от аналога.

Применяемое в настоящее время автоматизированное проектирование с использованием компьютеров не позволяет проектировщику, особенно начинающему, оценить правильность полученных результатов и создаёт иллюзию отсутствия ошибок.

В процессе проектирования недостаточно учитывается опыт предыдущих ошибок вследствие отсутствия информации об их причинах и последствиях, подробных публикаций об имевших место авариях. Отсутствует методика по выявлению ошибок.

История проектирования строительных конструкций сооружений полна примеров аварий, которые позволили выявить ошибки допускаемые при проектировании, и анализ которых позволил бы осуществлять в дальнейшем успешное проектирование.

Как показывает анализ аварий, грубые ошибки, допущенные при проектировании и строительстве, обычно проявляются в течение первых лет с начала эксплуатации.

Однако аварии, происшедшие после значительного срока эксплуатации, также могут быть вызваны ошибками при проектировании, так как имеющийся порок в проекте нередко был замаскирован имеющимися запасами прочности в конструкциях и проявился впоследствии в результате ослабления конструкций со временем.

Ошибки в технике принято разделять на случайные и систематические. Случайные ошибки возникают, главным образом, из-за ошибок человека, связанных с его физиологическими особенностями, его квалификацией, «климатом» во время работы и представляют собой различного рода упущения и механические ошибки. Как мы увидим далее, отказы конструкций, вызванные случайными ошибками, превышают отказы от систематических ошибок и составляют по нашим наблюдениям около 90% от всех ошибок. Без учёта случайных ошибок оценка надёжности сооружений представляется сильно заниженной.

---

При разработке типовых конструкций была принята многостадийная система проектирования. После разработки проекта конструкции и получения положительных рецензий ведущих сторонних организаций проводилась её экспериментальная проверка, по результатам которой уточнялось принятое конструктивное решение. На следующем этапе осуществлялось внедрение разработанных конструкций в экспериментальном проектировании реального объекта, где отработывалась технология изготовления и строительства. После удовлетворительного результата строительства и доработки проекта по результатам экспериментального строительства, конструкции рекомендовались к применению для массового строительства. Указанная методика проектирования позволяла избежать грубых ошибок и создавать наиболее рациональные конструкции.

В настоящее время при проектировании внедряются международные стандарты ИСО 9001-96, ИСО 9000-4-93, ИСО 9001-2001 по обеспечению качества и надёжности в строительстве.

Для предварительной оценки величин случайных ошибок, обусловленных человеческой деятельностью, можно использовать данные анализа этих ошибок из других областей техники [115]. Например, простые арифметические ошибки при проведении самопроверки, но без выполнения повторных вычислений имеют вероятность  $3 \cdot 10^{-2}$ . Ошибка типа упущения, когда упущенный пункт инструкции является элементом процедуры, имеет вероятность  $3 \cdot 10^{-3}$ .

Эффективным средством по исключению случайных ошибок является разработанная система квалифицированного контроля.

Систематические ошибки при проектировании возникают от незнания или неправильного понимания физических явлений, работы конструкций, несоответствия принятой методики расчёта действительной работе конструкций, а также недоработки норм на проектирование.

Вероятность появления систематических ошибок зависит от выбора принципиальной конструктивной схемы сооружения. Более сложные конструктивные схемы сооружения, а также применение новых конструкций и значительное отличие нового проекта от аналога вероятность ошибок значительно увеличивают.

Систематические ошибки выявляются экспертными и экспериментальными исследованиями, натурными обследованиями сооружений. Для повышения надёжности каждая сложная строительная система сооружения должна быть проанализирована экспертом на подверженность отказу, при этом следует предполагать, что авария может произойти. Такое исследование поможет выявить слабые стороны проекта. Большая вероятность отказа должна учитываться в процессе принятия решения при проектировании. В случае неблагоприятного прогноза систематические ошибки могут перекрываться большим коэффициентом надёжности.

Исходя из этапов проектирования конструкций сооружения ошибки можно подразделить на ошибки, возникающие при сборе исходных данных, выборе материалов, типов конструкций и расчётной схемы сооружения, расчёте и конструировании строительных конструкций.

## 1.2. Краткий исторический обзор

С начала строительной деятельности человечеству очень часто приходилось сталкиваться с авариями. Одной из главной их причин в то время были грубые ошибки проекта строительных конструкций.

Хотя первые строительные конструкции были массивными и имели большой запас прочности, аварии встречались довольно часто.

Так, 41-метровый купол Пантеона имел среднюю толщину 1,5 м, в то время как современный купол Новосибирского театра только 8 см, толщина стен Зимнего дворца в Петербурге составляет 1,86 метра. Современные здания такой же высоты имеют кирпичные стены толщиной 0,64 м.